دَائِـــرَةُ مَعَـــارِفِ الْقَرْنِ الْحَادِي وَالْعِشْرِين
لِلْعُلُومِ وَالتِّكْنُولوجْيَا الْمُتَطَوِّرَةِ وَالطَّبِيعَةِ

كتب تايم لايف

٣ الْقُوَى الْفِيزْيَائِيَّةُ 3



الناشرون

دار الكتاب المصرى
القاهرة



دار الكتاب اللبنانى
بيروت

الْمُحْتَوِيَاتُ



1 الْقُــوَّةُ والضَّغْطُ

يُوجَدُ فِي الطَّبِيعَةِ عَدَدٌ مِن الْقُوى الْأَسَاسِيَّةِ الَّتِي تُؤَثِّرُ عَلَى سُلُوكِ الْأَشياءِ بَدْءًا مِن الْأَحْجامِ تَحْتَ الذَّرِّيَّةِ إِلَى الْأَحْجامِ الْفَلَكِيَّةِ . ومِنْهَا ، قُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ الَّتِي تُشَكِّلُ نَسِيجَ الْكَوْنِ وَتَحْكُمُ حَرَكَةَ الْمَجَرَّاتِ والنُّجومِ والْكَوَاكِبِ . وَيَظْهَرُ وُجُودُ الْجاذِبِيَّةِ بِمِقْيَاسِ الْإِنْسانِ الْعَادِيِّ فِي الْبَالُونَاتِ والْقَوارِبِ والطَّائِرَاتِ والصَّوَارِيخِ .

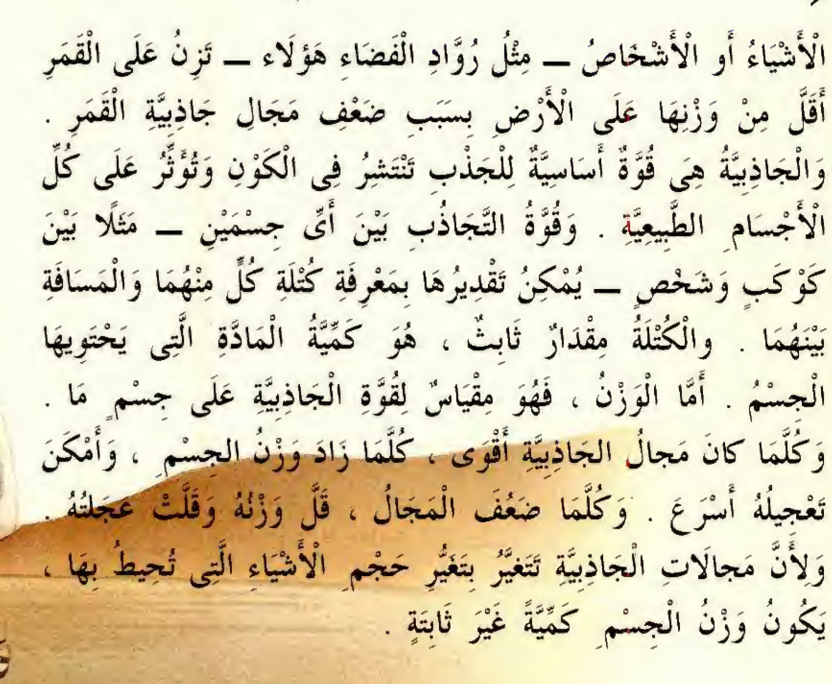
وَالْجاذِبِيَّةُ يُمْكِنُ قِياسُهَا ، مِثْلَ كُلِّ الْقُوَى . وَيَقِيسُ الْفِيزْيَائِيُّونَ مِقْدارَ الْقُوَّةِ بالْعَجَلَةِ الَّتِي تَكْسِبُهَا لِجِسْمٍ مَا ، أَو التَّغَيُّراتِ الَّتِي يُحْدِثُها فِي حَجْمِ أَوْ شَكْلِ جِسْمٍ مَا . وَلأَنَّ الْقُوَى لَهَا مِقْدَارٌ وَاتِّجاهٌ ، فَإِنَّ الْعُلَمَاءَ يُمَيِّزُونها كَكَمِّيَّاتٍ مُتَّجِهَةٍ ، تُمَثَّلُ فِي هَذَا الْكِتَابِ بِأَسْهُمٍ . وَعِنْدَمَا تُؤَثِّرُ الْقُوَى فِي نَفْسِ الاتِّجاهِ ، فَإِنَّ تَأْثِيرَهَا يَزْدَادُ . أَما إِذَا أَثَّرَتْ فِي اتِّجَاهَيْنِ مُتَضَادَّيْنِ ، فَقَدْ يُلْغِي بَعْضُهَا الْبَعْضَ الْآخَرَ ، وَفِي هَذِهِ الْحَالَةِ يُقَالُ إِنَّهَا مُتَّزِنَةٌ . وَالْقُوَّةُ الْمُؤَثِّرَةُ فِي مُوَاجَهَةِ سَطْحٍ تُسَمَّى ضَغْطًا ، وَتُقَاسُ طِبْقًا لِمِقْدارِهَا عَلَى مِساحَةٍ مُعَيَّنَةٍ ، مَثَلًا — بالرِّطْلِ / بُوصَة^{٢} . وَتَتَعَرَّضُ الْغَازَاتُ والسَّوَائِلُ والْجَوامِدُ كُلُّهَا لِلضَّغْطِ الْجَوِّي ، وَلَكِنْ لَهَا أَيْضًا ضَغْطٌ دَاخِلِيٌّ بِسَبَبِ تَرْتِيبِ جُزَيْئَاتِها . وعِنْدَ تَحْلِيلِ الظَّوَاهِرِ الطَّبِيعِيَّةِ يَأْخُذُ الْعُلَمَاءُ فِي الاعْتِبَارِ الْقُوَى الْمُتَعَدِّدَةَ . وَسَيَفْحَصُ هَذَا الْكِتَابُ هَذِهِ الْقُوَى ، وَيَشْرَحُ فِي هَذَا الْفَصْلِ كَيْفَ تَتَفَاعَلُ فِيمَا بَيْنَهَا .

فِي الصُّورَةِ (يسار) ، نَرَى الْبَالُونَاتِ الْمُلَوَّنَةَ تُزَيِّنُ السَّمَاءَ بَعْدَ أَنْ تَغَلَّبَتْ عَلَى قُوَى الْجاذِبِيَّةِ ، لِأَنَّهَا مَملُوءَةٌ بِالْهَواءِ السَّاخِنِ ، وَهُوَ أَخَفُّ مِن الْهَواءِ الْبَارِدِ الْمُحِيطِ بِالْبَالُون .





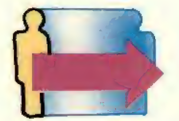
لماذا يكون وزن الأجسامِ أَقَلَّ عَلَى سطْحِ الْقَمَر ؟

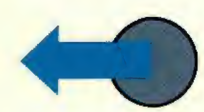


الْأَشْيَاءُ أَو الْأَشْخَاصُ ــ مِثْلُ رُوَّادِ الْفَضَاءِ هَؤلَاء ــ تَزِنُ عَلَى الْقَمَرِ أَقَلَّ مِنْ وَزْنِهَا عَلَى الْأَرْضِ بِسَبَبِ ضَعْفِ مَجَالِ جَاذِبِيَّةِ الْقَمَرِ . وَالْجَاذِبِيَّةُ هِيَ قُوَّةٌ أَسَاسِيَّةٌ لِلْجَذْبِ تَنْتَشِرُ فِي الْكَوْنِ وَتُؤَثِّرُ عَلَى كُلِّ الْأَجْسَامِ الطَّبِيعِيَّةِ . وَقُوَّةُ التَّجَاذُبِ بَيْنَ أَيِّ جِسْمَيْنِ ــ مَثَلًا بَيْنَ كَوْكَبٍ وَشَخْصٍ ــ يُمْكِنُ تَقْدِيرُهَا بِمَعْرِفَةِ كُتْلَةِ كُلٍّ مِنْهُمَا وَالْمَسَافَةِ بَيْنَهُمَا . والْكُتْلَةُ مِقْدَارٌ ثَابِتٌ ، هُوَ كَمِّيَّةُ الْمَادَّةِ الَّتِي يَحْتَوِيهَا الْجِسْمُ . أَمَّا الْوَزْنُ ، فَهُوَ مِقْيَاسٌ لِقُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ عَلَى جِسْمٍ مَا . وَكُلَّمَا كَانَ مَجَالُ الْجَاذِبِيَّةِ أَقْوَى ، كُلَّمَا زَادَ وَزْنُ الْجِسْمِ ، وَأَمْكَنَ تَعْجِيلُهُ أَسْرَعَ . وَكُلَّمَا ضَعُفَ الْمَجَالُ ، قَلَّ وَزْنُهُ وَقَلَّتْ عَجَلَتُهُ . وَلِأَنَّ مَجَالَاتِ الْجَاذِبِيَّةِ تَتَغَيَّرُ بِتَغَيُّرِ حَجْمِ الْأَشْيَاءِ الَّتِي تُحِيطُ بِهَا ، يَكُونُ وَزْنُ الْجِسْمِ كَمِّيَّةً غَيْرَ ثَابِتَةٍ .

عَلَى الْقَمَرِ ، يَقِلُّ وَزْنُ رَائِدِ الْفَضَاءِ إِلَى ١/٦ وَزْنِهِ عَلَى الْأَرْضِ لِأَنَّ قُوَّةَ شَدِّ الْجَاذِبِيَّةِ عَلَيْهِ تَبْلُغُ فَقَط ١/٦ تِلْكَ الْقُوَّةِ عَلَى الْأَرْضِ .

جَذْبٌ مُتَبَادَلٌ





الْقَمَرُ وَالْأَرْضُ (أعلى) تُؤَثِّرُ بِقُوَّةِ جَذْبٍ عَلَى الْأَجْسَامِ الْقَرِيبَةِ مِنْ سَطْحِهَا ، وَتُؤَثِّرُ الْأَجْسَامُ بِقُوَّةِ جَذْبٍ مُتَمَاثِلَةٍ تَتَنَاسَبُ مَعَ كُتْلَتِهَا . فَالْمَسَافَةُ بَيْنَ الْقَمَرِ وَالشَّخْصِ (يسار)

مِثْلُ حِجَارَةٍ فِى بِئْرٍ

فِى مَجَالَاتِ الجَاذِبِيَّةِ (أسفل) يُؤَثِّرُ الْقَمَرُ (يسار) بِقُوَّةٍ أَقَلَّ مِن الْأَرْضِ (يمين) الْأَكْبَرِ كُتْلَةً . والْهُرُوبُ مِن الْجَاذِبِيَّةِ يُشَبَّهُ بِالْخُروجِ من قَاعِ بِئْرٍ . فَكُلَّمَا زَادَت الجاذِبِيَّةُ ، زَادَ عُمْقُ الْبِئْرِ، وَزَادَ انْحِدَارُ جَوانِبِهِ .

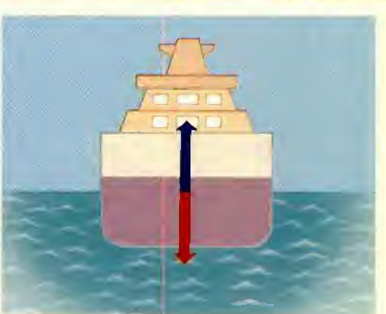


الْعَوْدَةُ مِنْ الْقَمَرِ رَائِدُ الْفَضَاءِ (أسفل) يَزِنُ عَلَى الْأَرْضِ ٦ أَمْثَالِ وَزْنِهِ عَلَى الْقَمَرِ (لاحظ قِرَاءَتَى الميزان) فَقُوَّةُ الجاذِبِيَّةِ الْأَرْضِيَّةِ أَكْبَرُ من الْقَمَرِيَّةِ لِكِبَرِ كُتْلَةِ الْأَرْضِ .

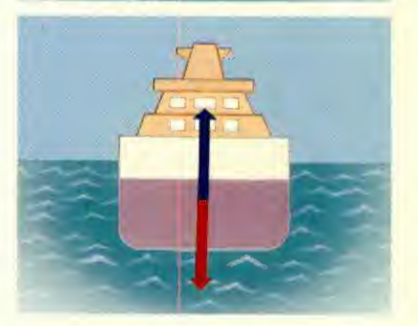
وَكُتْلَةِ الْقَمَرِ الصَّغِيرَةِ تُكَوِّنُ قُوَّةَ جَذْبٍ ضَعِيفَةٍ ، بَيْنَمَا الْأَرْضُ والشَّخْصُ (يمين) يُكَوِّنَانِ قُوَّةَ جَذْبٍ أَكْبَرَ بِكَثِيرٍ بِسَبَبِ كُتْلَةِ الْأَرْضِ الْكَبِيرَةِ .

لِماذا تطفو السُّفُن ؟

جَاذِبِيَّةٌ ضِدَّ قُوَّةِ دَفْعٍ

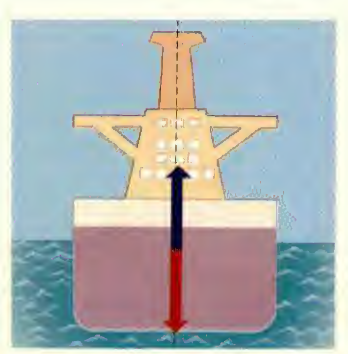


سَفِينَةٌ خَفِيفَةُ الْحُمولَةِ يَظْهَرُ مِنْهَا جُزْءٌ كَبِيرٌ فَوْقَ سَطْحِ الْمَاءِ ، لِأَنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ (سهم أزرق) أَكْبَرُ مِنْ قُوَّةِ شَدِّ الْجَاذِبِيَّةِ (سهم أحمر).

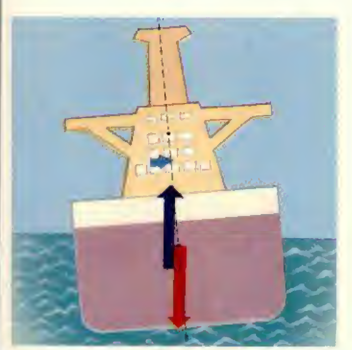


سَفِينَةٌ كَامِلَةُ الْحُمُولَةِ يَغُوصُ جُزْءٌ كَبِيرٌ مِنْهَا فِي الْمَاءِ ، تُزِيحُ حَجْما مِنَ الْمَاءِ أَكْبَرَ مِنْ سَفِينَةٍ خَفِيفَةِ الحمولَةِ .

تَحْقِيقُ التَّوَازُنِ



عِنْدَمَا تَطْفُو السَّفِينَةُ مُعْتَدِلَةً ، يَكُونُ مَرْكَزَا الْجَاذِبِيَّةِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ عَلَى خَطٍّ وَاحِدٍ . وَتَكُونُ السَّفِينَةُ فِي تَوَازُنٍ .

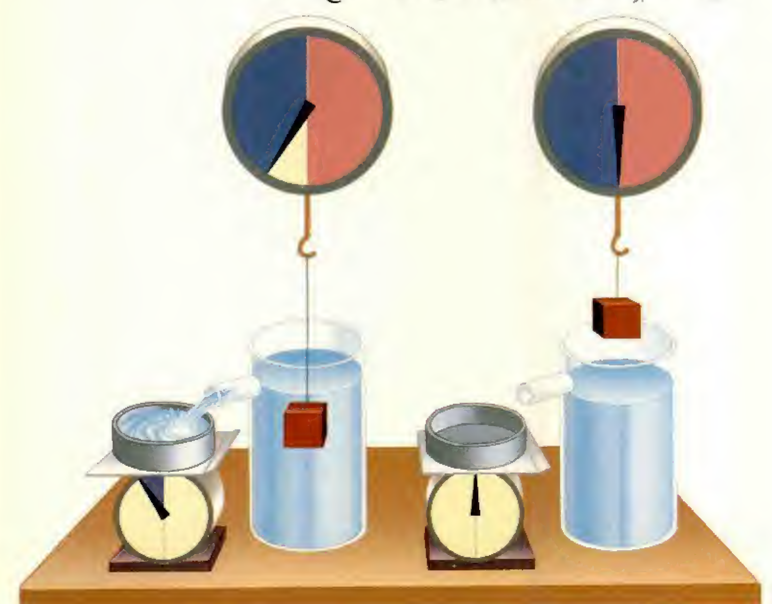


إِذَا مَالَتِ السَّفِينَةُ ، تُزَاحُ قُوَّةُ الدَّفْعِ ، وَتَعْمَلُ قُوَّةُ الدَّفْعِ لِأَعْلَى وَقُوَّةُ الْجَذْبِ لِأَسْفَلَ عَلى اعْتِدَالِ السَّفِينَةِ .

السُّفُنُ وَالْقَوَارِبُ وَالْعَوَّامَاتُ وَالأَجْسَامُ الأُخْرَى تَطْفُو بِسَبَبِ قُوَّةِ دَفْعِ الْمَاءِ مِثْلُ كُلِّ السَّوَائِلِ ، فَإِنَّ الْمُحِيطَ يُؤَثِّرُ بِقُوَّةِ ضَغْطٍ إِلَى أَعْلَى ، قَدْ تَدْعَمُ الأَجْسَامَ الْجَامِدَةَ الْمَوْضُوعَةَ عَلَيْهِ . وَفِى حَالَةِ السُّفُنِ ، يُرَاعَى عِدَّةُ عَوَامِلَ ، تَشْمَلُ كَثَافَةَ وَشَكْلَ الْجِسْمِ الطَّافِى وَطَرِيقَةَ مُقَاوَمَتِهِ . وَعُمُومًا فَإِنَّ السَّفِينَةَ تَطْفُو إِذَا كَانَ وَزْنُ الْمَاءِ الَّذِى تَحِلُّ مَحَلَّهُ السَّفِينَةُ يَزِنُ أَكْثَرَ مِنْ وَزْنِ السَّفِينَةِ كُلِّهَا . فَإِنَّ قُوَّةَ دَفْعِ الْمَاءِ لأَعْلَى عَلَى جِسْمِ السَّفِينَةِ تَتَغَلَّبُ عَلَى قُوَّةِ جَذْبِ الأَرْضِ لَهَا إِلَى أَسْفَلَ والتى تُؤَثِّرُ عِنْدَ نُقْطَةٍ تُسَمَّى مَرْكَزَ ثِقَلِ الْجِسْمِ . وَيُقَالُ إِنَّ السُّفُنَ مُسْتَقِرَّةٌ ، إِذَا صَدَمَتْهَا قُوًى مِثْلُ الرِّيَاحِ أَوِ الأَمْوَاجِ ثُمَّ عَادَتْ إِلَى وَضْعٍ مُتَّزِنٍ . وَإِذَا كَانَ تَصْمِيمُ السَّفِينَةِ أَوْ تَحْمِيلُهَا خَطَأً ، فَإِنَّ ذَلِكَ قَدْ يُؤَدِّى إِلَى عَدَمِ اسْتِقْرَارِهَا ، وَقَدْ تَغْرَقُ .

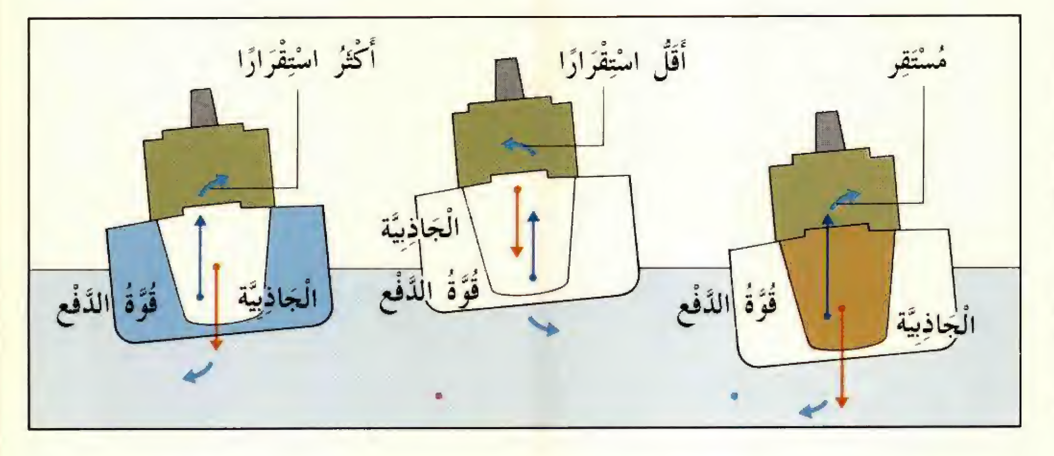
قَاعِدَةُ أَرْشِيمِيدِس

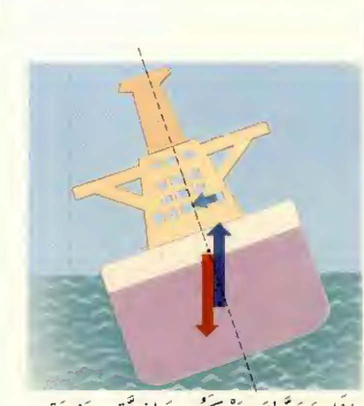
الْمُكَعَّبُ (أسفل) الْمُعَلَّقُ مِنْ مِيزَانٍ زُنْبُرُكِيٍّ ، يَزِنُ فِى الْمَاءِ (يسار) أَقَلَّ مِنْ وَزْنِهِ فِى الْهَوَاءِ (يمين). وَيَحِلُّ المكَعَّبُ مَحَلَّ حَجْمٍ مِنَ الْمَاءِ وَزْنُهُ يُعَادِلُ مِقْدَارَ النَّقْصِ فِى وَزْنِ الْمُكَعَّبِ . وَقَدْ تَمَكَّنَ الْعَالِمُ الإِغْرِيقِىُّ أَرْشِيمِيدِس لأَوَّلِ مَرَّةٍ فِى الْقَرْنِ الثَّالِثِ قَبْلَ الْمِيلَادِ ، مِنْ وَصْفِ الْعَلَاقَةِ بَيْنَ حَجْمِ كُتْلَةٍ مَغْمُورَةٍ وَبَيْنَ قُوَّةِ الدَّفْعِ عَلَيْهَا .



انْتِقَالُ مَرْكَزِ الثِّقَلِ

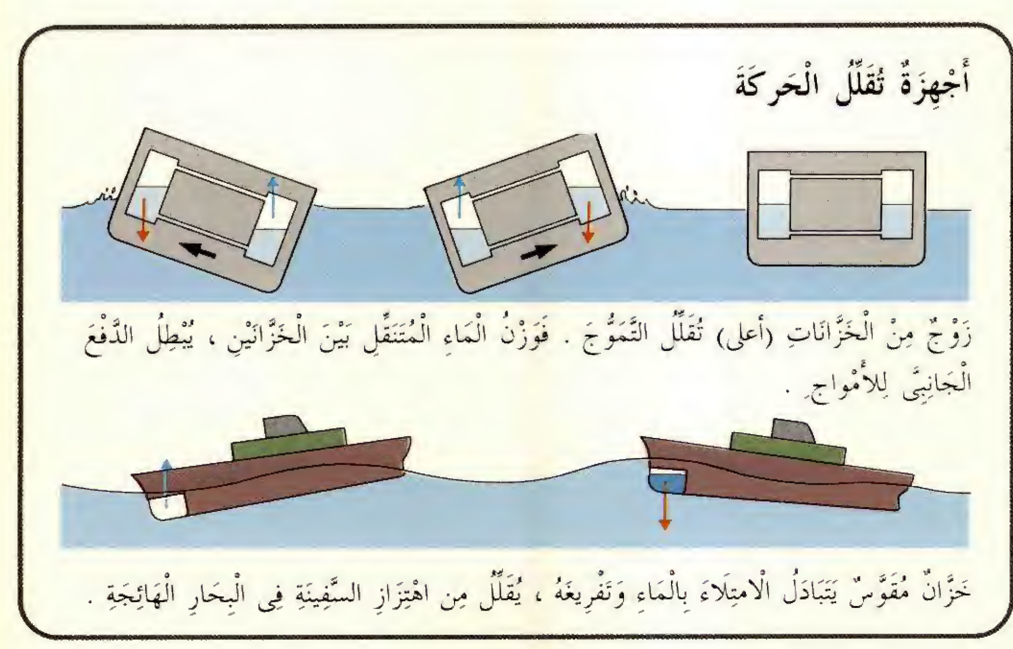
هَذِهِ الْمَنَاظِرُ الثَّلَاثَةُ تُبَيِّنُ كَيْفَ يَتَأَثَّرُ اسْتِقْرَارُ السَّفِينَةِ بِحُمُولَتِهَا . فَالْحُمُولَةُ الْكَامِلَةُ للسَّفِينَةِ تُقَرِّبُ مَرْكَزَىْ الثِّقَلِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ (يسار)، فَتَكُونُ السَّفِينَةُ مُسْتَقِرَّةً . فَإِذَا أَثَّرَتْ عَلَيْهَا الأَمْوَاجُ ، سُرْعَانَ مَاتَسْتَعِيدُ اعْتِدَالَهَا . وَفِى السَّفِينَةِ الْفَارِغَةِ (وسط) تَبَاعَدَ مَرْكَزَا الثِّقَلِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ ، وَأَصْبَحت السَّفِينَةُ غَيْرَ مُسْتَقِرَّةٍ .





إِذَا تَحَرَّكَ مَرْكَزُ جَاذِبِيَّةِ سَفِينَةٍ مَائِلَةٍ ، كَثِيرًا إِلَى أَعْلَى وَبَعِيدًا عَنْ مَرْكَزِ قُوَّةِ الدَّفْعِ ، انْقَلَبَت السَّفِينَةُ .

أَجْهِزَةٌ تُقَلِّلُ الْحَرَكَةَ



زَوْجٌ مِنَ الْخَزَّانَاتِ (أعلى) تُقَلِّلُ التَّمَوُّجَ . فَوَزْنُ الْمَاءِ الْمُتَنَقِّلِ بَيْنَ الْخَزَّانَيْنِ ، يُبْطِلُ الدَّفْعَ الْجَانِبِىَّ لِلأَمْوَاجِ .

خَزَّانٌ مُقَوَّسٌ يَتَبَادَلُ الامتِلَاءَ بِالْمَاءِ وَتَفْرِيغَهُ ، يُقَلِّلُ مِنَ اهْتِزَازِ السَّفِينَةِ فِى الْبِحَارِ الْهَائِجَةِ .

كَيْفَ تَظَلُّ الْبَالُونَاتُ مُعَلَّقَةً فِى الْهَوَاءِ ؟

تَرْتَفِعُ الْبَالُونَاتُ لِأَنَّ الْغَازَ الَّذِى يَمْلَؤُهَا أَخَفُّ مِن الْهَواءِ الْمُحِيطِ بِهَا . وَهُنَاكَ غَازَاتٌ كَثِيرَةٌ أَقَلُّ كَثَافَةً مِن الْهَوَاءِ ، مِثْلُ الْهَيدْرُوجِين وَالْهِيلْيُوم . وَمَعْنَى هَذَا أَنَّهُ عِنْدَ حَرَارَةٍ مُعَيَّنَةٍ تَكُونُ كُتْلَةُ حَجْمٍ مُعَيَّنٍ مِنْهَا أَقَلَّ مِنْ كُتْلَةِ نفسِ الْحَجْمِ مِن الْهَواءِ . فَإِذَا مُلِئَ الْبَالُونُ بِمِثْلِ هَذِهِ الْغَازَاتِ ، فَإِنَّهُ يَرْتَفِعُ مَادَامَ الْوَزْنُ الْكُلِّىُّ لِلْغِلَافِ والْمَقْصُورَةِ وَالشِّحْنَةِ وَالْجِبَالِ أَقَلَّ مِنْ وَزْنِ الْهَواءِ الَّذِى يَحِلُّ مَحِلَّهُ الْبَالُونُ . (يَنْطَبِقُ عَلَى هَذِهِ الْحَالَةِ قَاعِدَةُ أَرْشِيمِيدِس بِاعْتِبَارِ الْبَالُونِ طَافِيًا فِى الْهَواءِ) . والْهَواءُ السَّاخِنُ أَقَلُّ كَثَافَةً مِن الْهَوَاءِ الْبَارِدِ ، لِذَا يَرْتَفِعُ أَيْضًا . وَرَغْمَ أَنَّ الْهَواءَ السَّاخِنَ لَيْسَ خَفِيفًا مِثْلَ بَعْضِ الْغَازَاتِ ، إِلَّا أَنَّهُ آمَنُ وَسَهْلُ الْإِنْتَاجِ بِمَواقِدِ الْبُرُوبَانِ الَّتِى تُوضَعُ تَحْتَ فُوَّهَةِ غِلَافِ الْبَالُونِ ، الَّذِى يُصْنَعُ عَادَةً مِنْ مَادَّةٍ خَفِيفَةِ الْوَزْنِ مِثْلِ النَّايلُون غَيْرِ الْقَابِلِ لِلتَّمَزُّقِ . وَتَظَلُّ بَالُونَاتُ الْهَوَاءِ السَّاخِنِ طَافِيَةً عِدَّةَ سَاعَاتٍ عَادَةً ، وَلَكِنْ إِذَا لَمْ يَتِمَّ إِمْدَادُها بِهَواءٍ سَاخِنٍ إِضَافِىٍّ دَاخِلَ الْغِلَافِ ، فَإِنَّهَا تَهْبِطُ تَدْرِيجِيًّا .



عِنْدَمَا يَكُونُ الْهَوَاءُ بَارِدًا ، تَتَحَرَّكُ الْجُزَيْئَاتُ بِبُطْءٍ ، وَتَتَقَارَبُ .

إِذَا سُخِّنَ الْهَوَاءُ ، تَتَحَرَّكُ الْجُزَيْئَاتُ بِسُرْعَةٍ وَتَتَبَاعَدُ ، فَتَشْغَلُ حَجْمًا أَكْبَرَ .

٣ ــ يُحَافِظُ الْمَلَّاحُونَ عَلَى الْارتِفَاعِ بِأَنْ يَزِيدُوا قُوَّةَ الدَّفْعِ بِإِعَادَةِ إِشْعَالِ الْمَوَاقِدِ . وَمَادَامَ الْهَوَاءُ دَاخِلَ الْغِلَافِ أَسْخَنَ مِن الخَارِجِىِّ ، فَإِنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ تَتَغَلَّبُ عَلَى الْجَاذِبِيَّةِ .

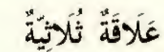
٢ ــ الْهَوَاءُ الْخَفِيفُ السَّاخِنُ (تحت) يَرْتَفِعُ دَاخِلَ الْغِلَافِ ثُمَّ يَنْسَابُ إِلَى أَسْفَلِ الْجَوانِبِ . فَيَخْرُجُ الْهَوَاءُ الْبَارِدُ مِنْ فُوَّهَةِ الْبَالُونِ . وَيَقِلُّ وَزْنُ الْبَالُونِ ، فَيَرْتَفِعُ .

١ ــ بَالُونٌ يَرْقُدُ عَلَى جَانِبِهِ ، ومَوْقِدُ بُرُوبَانٍ يُسَخِّنُ الْهَواءَ دَاخِلَهُ ، فَيَنْتَفِخُ الْغِلَافُ وَيَرْتَفِعُ فِى الْهَواءِ .

٤ ـــ يَهْبِطُ الْبَالُونُ عِنْدما يَبْرُدُ هَـوَاؤُهُ وَيَنْكَمِشُ . وَيَسْتَطِيــعُ الْمَلَّاحُونَ إسْرَاعَ عَمَلِيَّةِ الْهُبُوطِ بِإِخْرَاجِ الْهَواءِ السَّاخِنِ مِن فُتْحَةِ أَعْلَى الْبَالُونِ .

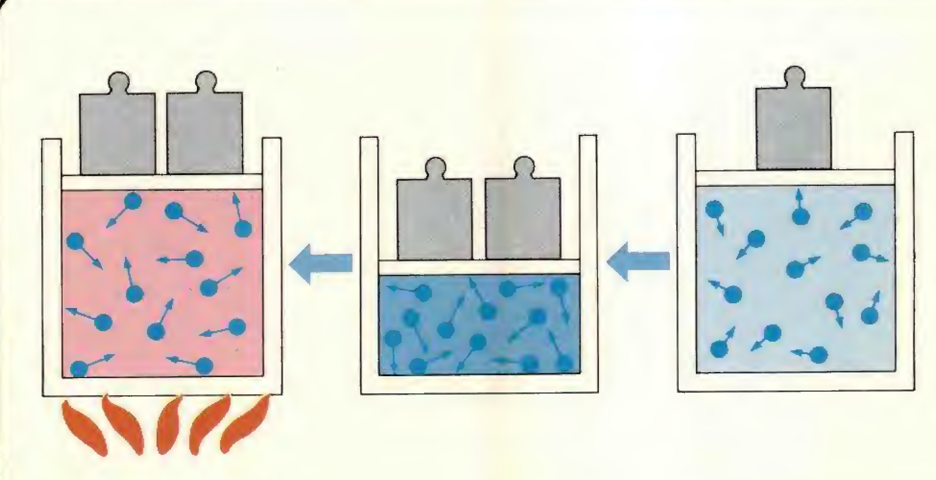
بِالتَّبْرِيدِ ، تُبْطِئُ الْجُزَيْئَاتُ ، وَيقِلُّ الْحَجْمُ ، فَتَزْدَادُ الْكَثَافَةُ .

باسْتِمرَارِ تَسْخِينِ الْهَواءِ فَإِنَّهُ يَتمدَّدُ ، وَيُصْبِحُ أَقَلَّ كَثافَةً .



عَلاقَةٌ ثُلاثِيَّةٌ

يَرْتَبِطُ ضَغْطُ وَحَجْمُ وَدَرَجَةُ حَرَارَةِ الْغَازِ مَعًا . عِنْدَ دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْغُرْفَةِ (الرسم الأقرب) يَتَوَلَّدُ ضَغْطٌ مُعَيَّن دَاخِلَ إِنَاءٍ نَتِيجَةَ حَرَكَةِ جُزَيْئَاتِ الْهَواءِ . فَإِذَا أُنْقِصَ الْحَجْمُ إِلَى النِّصْفِ (الأوسط) فَإِنَّ الضَّغْطَ الدَّاخِلِيَّ يَتَضَاعَفُ . وَإِذَا سُخِّنَ الْهَواءُ (البعيد) يَزْدَادُ ضَغْطُهُ ويَزْدَادُ حَجْمُه بِنِسْبَةِ الزِّيَادَةِ فِي دَرَجَةِ الْحَرَارَةِ .



كَيْفَ يُبْحِرُ قَارِبٌ وَسْطَ الرِّيَاحِ ؟

الْقَارِبُ الشِّرَاعِيُّ الْمُسَافِرُ فِي اتِّجَاهِ الرِّيَاحِ يُوَاجِهُ ضَغْطًا بَسِيطًا عَلَى شِرَاعِهِ بِوَاسِطَةِ الرِّيَاحِ فَتَدْفَعُ جِسْمَ الْقَارِبِ . أَمَّا الإِبْحَارُ ضِدَّ الرِّيَاحِ فَيُعَرِّضُ الشِّرَاعَ لِمَجْمُوعَةٍ مُعَقَّدَةٍ مِن الْقُوَى كَمَا كَشَفَتْ دِرَاسَاتُ الأَنْفَاقِ الْهَوَائِيَّةِ . فَعِنْدَمَا يَمُرُّ الْهَوَاءُ فِي مُحَاذَاةِ الْجَانِبِ الْخَلْفِيِّ الْمُقَعَّرِ لِلشِّرَاعِ ، فَإِنَّهُ يُبْطِئُ بَيْنَمَا يُسْرِعُ الْهَوَاءُ حَوْلَ الْجَانِبِ الأَمَامِيِّ الْمُنْتَفِخِ . وَهَذَا يُكَوِّنُ مِنْطَقَةَ ضَغْطٍ عَالٍ خَلْفَ الشِّرَاعِ ، وَمِنْطَقَةَ ضَغْطٍ مُنْخَفِضٍ أَمَامَهُ . وَالْفَرْقُ بَيْنَ الضَّغْطِ عَلَى الْجَانِبَيْنِ يُسَبِّبُ حَرَكَةً تَدْفَعُ الْقَارِبَ إِلَى الأَمَامِ بِزَاوِيَةٍ مَعَ اتِّجَاهِ الرِّيَاحِ .

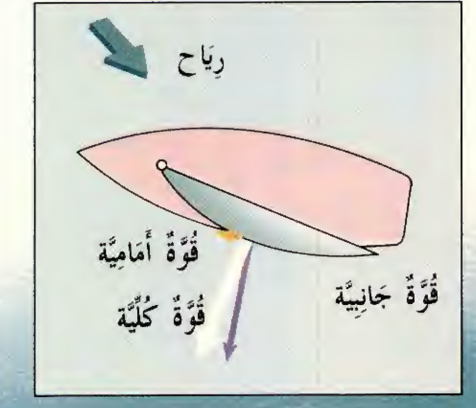


قَارِبٌ مَوْضُوعٌ عَمُودِيًّا تَقْرِيبًا عَلَى اتِّجَاهِ الرِّيَاحِ ، يَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ إِلَى الأَمَامِ . وَيَتَعَرَّضُ الْقَارِبُ لِقُوًى أَمَامِيَّةٍ وَجَانِبِيَّةٍ . وَيَتَحَرَّكُ فِي اتِّجَاهِ الْقُوَّةِ الْكُلِّيَّةِ .

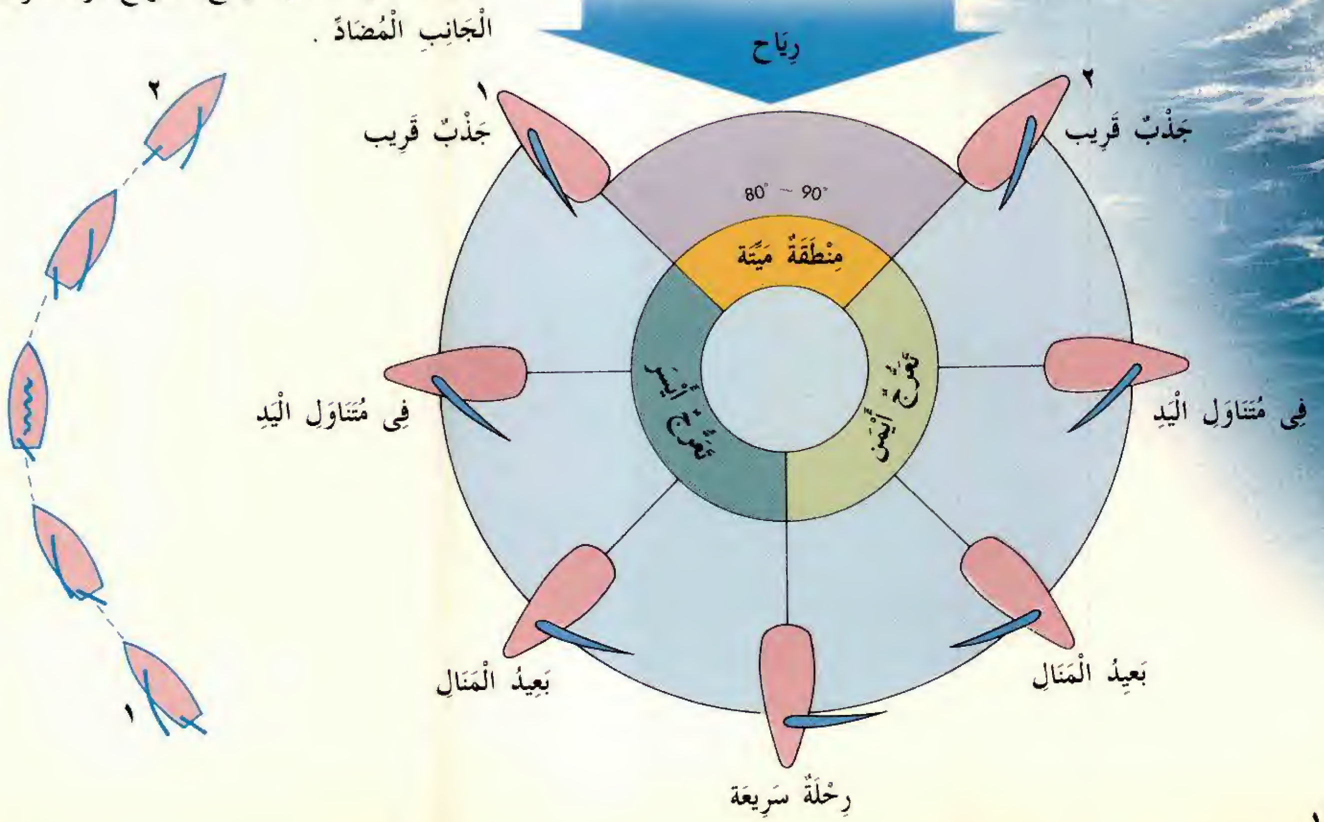
الْقَارِبُ يُبْطِئُ إِذَا تَحَرَّكَ مُبَاشَرَةً وَسْطَ الرِّيَاحِ تَقْرِيبًا ، لِأَنَّ الْقُوَّةَ الأَمَامِيَّةَ تَقِلُّ ، وَالْقُوَّةَ الْجَانِبِيَّةَ تَزِيدُ .

التَّعَرُّجُ وَسْطَ الرِّيَاحِ

لَا يُمْكِنُ لِأَىِّ قَارِبٍ أَنْ يَتحرَّكَ مُبَاشَرَةً وَسْطَ الرِّيَاحِ ، وَلَكِنَّهُ يَتَقَدَّمُ فِى سِلْسِلَةٍ مِن الْحَرَكَاتِ الْقَصِيرَةِ الْمُنْحَرِفَةِ تُسَمَّى حَرَكَاتٍ مُتَعَرِّجَةً . وَالْهَواءُ الَّذِى يَهُبُّ فَوْقَ الْجَانِبِ الْأَيْسَرِ يُحَدِّدُ الْحَركَةَ الْمُتَعَرِّجَةَ الْيُسْرَى ، وَفَوْقَ الْجَانِبِ الْأَيْمَنِ الْحَرَكَةَ الْمُتَعَرِّجَةَ الْيُمْنَى . وَلِاتِّبَاعِ أَسْرَعِ الْمَسَارَاتِ ، فَإِنَّ الْبَحَّارَ يُحَاوِلُ ضَبْطَ أَوْضَاعِ الشِّرَاعِ (أسفل). وَلِتَقْلِيلِ الْمَسَافَةِ الَّتِى يَخْرُجُ فِيهَا الْقَارِبُ عَن الْخطِّ الْمُسْتَقِيمِ ، فَإِنَّ الْقَارِبَ يَتَحَرَّكُ بِحَرَكَةٍ مُتَعَرِّجَةٍ يَسَارًا وَيَمِينًا . وَعِنْدَمَا يُغيِّرُ الْقَارِبُ اتِّجَاهَه ، فَإِنَّ الشِّرَاعَ يَتَذَبْذَبُ بِالْعَرْضِ ، وَيُرَفْرِفُ قَلِيلًا عِنْدمَا يُوَاجِهُ الرِّيَاحَ (أسفل وسط) . وَيُبْطِئُ الْقَارِبُ فِى الْمِنْطَقَةِ الْمُسَمَّاةِ بِالْمِنْطَقَةِ الْمَيِّتَةِ ، حَتَّى تُلَامِسَ الرِّيَاحُ الشِّرَاعَ مَرَّةً أُخْرَى عَلَى الْجَانِبِ الْمُضَادِّ .



كُلَّمَا اقْتَرَبَ الشِّرَاعُ مِنْ مُؤَخِّرَةِ الْقَارِبِ ، كُلَّمَا زَادَ بُطْءُ تَقَدُّمِ الْقَارِبِ . وَمِنْ أَسْبَابِ هَذَا ، زِيَادَةُ الْقُوَّةِ الْجَانِبِيَّةِ .



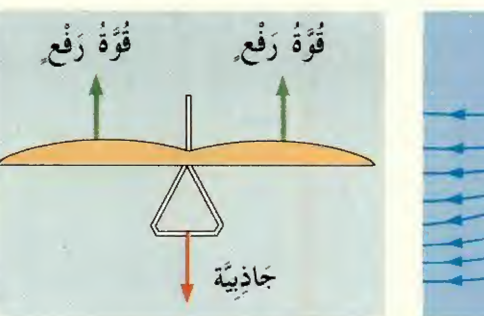
كَيْفَ تطِيرُ الطَّائراتُ الشِّراعيةُ (الْمنْزلقةُ) الْمعلَّقةُ المعْروفَةُ بِالطَّائرةِ الْخفَّاشِ ؟

الْخوَاصُّ الدِّينَامِيكيَّةُ الْهَوَائِيَّةُ للطَّائِرَةُ الْخُفَّاش ، الَّتِى اخْتُرِعَتْ فِى الْخمْسِينِيَّاتِ بِوَاسِطَةِ عَالِم «ناسا» فرانسيس رُوجَاللُّو ، تُشْبِهُ خوَاصَّ السُّفُنِ الطَّائِرَةِ الْعَادِيَّة . وَتُطْلَقُ الطَّائِرَةُ الخُفَّاشُ مِنْ عَلَى صَخْرَةٍ أَوْ مِنْ قِمَّةِ تَلٍّ شَدِيدِ الانْحِدَارِ ، وَجَنَاحُهَا الْمُتحرِّكُ (يسار) يُغَيِّرُ مَسَارَ الْهَواءِ الَّذى يَسْرِى أَعْلَى سَطْحِهِ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ مِنْهَا أَسْفَلَ الْجناحِ ، فَتَتَوَلَّدُ قُوَّةُ رَفْعٍ تدْفَعُ الْجَنَاحَ إِلَى أَعْلَى . وَتَيَّارَاتُ الْهَوَاءِ الْمُعَاكِسَةُ عَلَى طُولِ الْجَنَاحِ وَخلْفِهِ تُحْدِثُ مُقَاوَمَةً ، تعُوقُ قُوَّةَ الرَّفْعِ . وَلِأَنَّ مُقَدِّمَةَ الْجَنَاحِ تَمِيلُ لِأَعْلَى ، فَإِنَّ كُلًّا مِنْ قُوَّةِ الرَّفْعِ وَالْمقَاوَمَةِ تَزْدَادُ . وَعِنْدَ خُطْوَةٍ مُنْحَدِرَةٍ جِدًّا ، فَإِنَّ الْمقَاوَمَةَ عَلَى الْأَجْنِحَةِ تُضْعِفُ قُوَّةَ الرَّفْعِ ، فَتَنْهَارُ الطَّائِرَةُ ، وَتَهْوِى فِى دَوَائِرَ إِلَى الْأَرْضِ بَعِيدَةً عَنْ أَىِّ تَحَكُّمٍ .

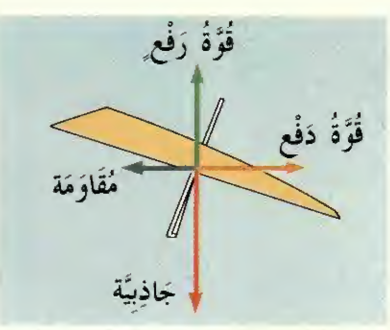
(ناسا : وكالة الفضاء الأمريكية)

الْقُوَى الْمُؤَثِّرَةُ عَلَى الطَائِرَةِ الْخُفَّاشِ

الْخُفُّاش الطائر ذُو سَطْحٍ انْسِيَابِىٍّ حَامِلٍ (أراجوانى) ، وَعِنْدَ سُرْعَةٍ كَافِيَةٍ يَكُونُ لَهُ قُوَّةُ رَفْعٍ كَافِيَةٌ (السهم الأخضر) لِلتَّغَلُّبِ عَلَى الْجَاذِبِيَّةِ . والرِّيَاحُ الْمُواتِيَةُ تُسَاعِدُهَا عَلَى الطَّيَرَانِ عِدَّةَ سَاعَاتٍ .



الطَّائِرَةُ الخُفَّاش تَظَلُّ مُحلَّقةً فَقَط إِذَا ضُبِطَ الْجَنَاحُ لِتَتَّزِنَ الْقُوَى الْمؤَثِّرَةُ عَلَيْه .



يَجِبُ أَنْ تَزِيدَ قُوَّةُ الرَّفْعِ الْكُلِّيَّة عَنْ قُوَّةِ الجَاذِبِيَّة لِيبقَى الخفاش محلقًا .



الطَّيرانُ إلَى أعلى

طَيَّارٌ مُعَلَّقٌ مِنْ حَمَائِلَ مُثَبَّتَةٍ فِى الْجَنَاحِ ، يَضْبِطُ زَاوِيَةَ طَيَرانِهِ بِتَحْرِيكِ عَمُودِ التَّحَكُّمِ لِلْأَمَامِ فَتَرتَفِعُ الْأَجْنِحَةُ (أقصى يسار) وَيَرْتَفِعُ الخفاش وَتَقِلُّ سُرْعَتُهُ . وَبِجَذْبِ الْعَمُودِ لِلْخلْفِ ، يَهْبِطُ الخفاش .

ثَلَاثُ حَالَاتٍ لِلتَّحْلِيق

تَحْلِيقٌ مَوْجِيٌّ بِأَنْ تَحْمِلَه الرِّيَاحُ السَّرِيعَةُ الْمُرتفِعَةُ مِنْ سِلْسِلَةٍ جَبَلِيَّةٍ .

مُحَلِّقٌ قِمِّيٌّ يَسْتَفِيدُ مِنْ تيارات الْهَواء الْمُرْتَفِعَة نَتِيجَةَ اصْطِدامِ رِياحٍ سائِدَةٍ بِقِمَّةِ جَبلٍ أَوْ جَرْفٍ .

الْحَرَارِيَّاتُ ـ أَعْمِدَةُ الْهَواءِ السَّاخِنِ ـ تَرْفَعُ الخفاش حَلَزُونِيًّا لِأَعْلَى وَالتَّيَّارَاتُ الْهَابِطَةُ قَدْ تَسَبِّبُ تَحَطُّمَه .

كَيْفَ يُقْرأُ الضَّغْطُ الْجَوِّىُّ ؟

الْبَارُومِتْرَاتُ هِىَ أَجْهِزَةُ قِيَاسِ الضَّغْطِ الْجَوِّىِّ . ويعزى هَذَا الضَّغْطُ إلى وَزْنِ الْهَوَاءِ الْجَوِّىِّ عندما يَضْغَطُ عَلَى كُلِّ شَىْءٍ عَلَى سَطْحِ الْأَرْضِ . وَبِمَا أَنَّ طَبَقَاتِ الْهَوَاءِ الْجَوِّىِّ تَكُونُ أَقَلَّ عِنْدَ الْارْتِفَاعَاتِ الْعَالِيَةِ — قِمَّةِ جَبَلٍ مَثَلًا — فَإِنَّ الضَّغْطَ الْجَوِّىَّ يَقِلُّ كُلَّمَا ارْتَفَعْنَا لِأَعْلَى . وَيَتَغَيَّرُ الضَّغْطُ الْجَوِّىُّ أَيْضًا عِنْدَمَا تَتَحَرَّكُ الْكُتَلُ الْهَوَائِيَةُ مُكَونة جبهات باردة أَو ساخنة . وَلِهَذا ، فَإِنَّ البَارُومِتْرات تَدُلُّ عَلَى الطَّقْسِ .

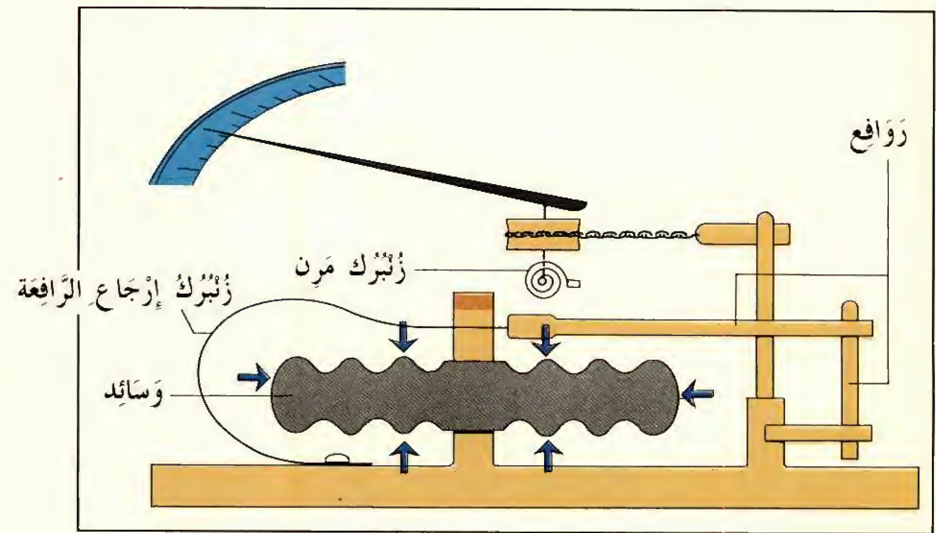
والنَّوْعَانِ الرَّئِيسِيَّانِ لِلبَارُومِتْرَاتِ هُمَا ، الزِّئْبَقِىُّ وَالْمَعْدِنِىُّ . وَقَد اخْتُرِعَ الْبَارُومِتر الزِّئْبَقِىُّ بَواسِطَةِ الْعَالِمِ الإِيطَالِى إِيفَانْجِلِيسْتَا تُورِشِيلِّلى عَام ١٦٤٣ . وَيَتَكَوَّنُ مِنْ أُنْبُوبٍ زُجَاجِىٍّ مَمْلُوءٍ بِالزِّئْبَقِ الَّذِى يَرْتَفِعُ وَيَنْخَفِضُ بِزِيَادَةِ الضَّغْطِ الْجَوِّى أَو انْخِفَاضِهِ . والْبَارُومِتر الْمَعْدِنِىُّ اخْتَرَعَهُ عَام ١٨٤٣ الْعَالِمُ الْفَرَنْسِىُّ لُوسْيَانِ فِيدِى . وَفِيهَا تُسْتَخْدَمُ وَسَائِدُ مَعْدِنِيَّةٌ مُجَعَّدَةٌ مُفَرَّغَةٌ مِنْ الْهَوَاءِ تَقْرِيبًا ، لِتُمَثِّلَ أَغْشِيَةً (أسفل). وَبِتَصْمِيمٍ مِيكَانِيكِىٍّ حَسَّاسٍ تَنْتَقِلُ حَرَكَةُ صُعُودِ وَهُبُوطِ الْوَسَائِدِ إِلَى حَرَكَةٍ دَائِرِيَّةٍ لِمُؤَشِّرٍ يُسَجِّلُ الْحَرَكَةَ عَلَى الْوَجْهِ الْمُدَرَّجِ لِلْجِهَازِ .

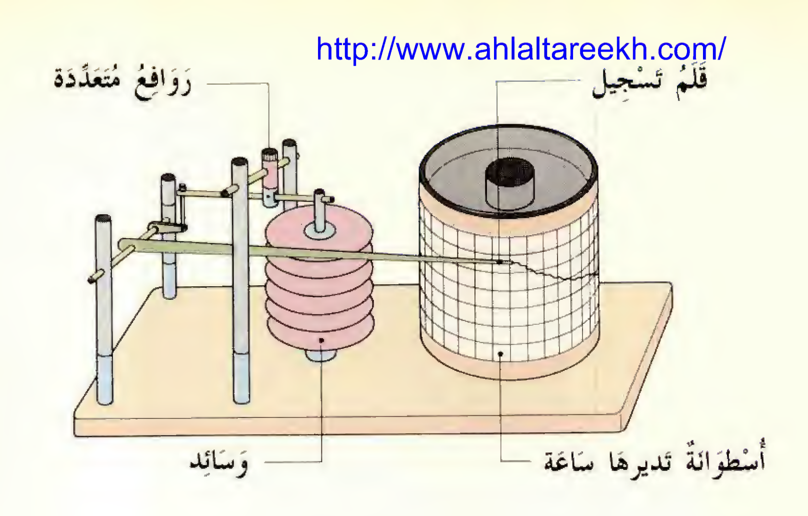


بارومتر مَعْدِنِى

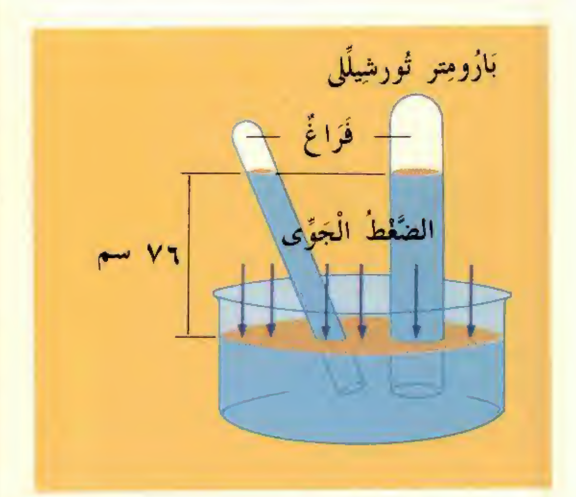
قَلْبُ بَارُومِتْرٍ مَعْدِنِى

تَقُومُ سِلْسِلَةُ رَوَافِعَ بِتَكْبِيرِ الْحَرَكَاتِ الْبَسِيطَةِ لِتَمَدُّدِ وَانْكِمَاشِ الْوَسَائِدِ . وَلَايَزِيدُ عَرْضُ مُعْظَمِ الْبَارُومِتْرَاتِ الْمَعْدِنِيَّةِ عَلَى ٨ بُوصَاتٍ .





فِى مَرْسَمةِ الضَّغْطِ الْجَوِّى (بَارُوجْرَاف) يَتَحَرَّكُ الْقَلَمُ الدَّقِيقُ لِمَرْسَمَةِ الضَّغْطِ الْجَوِّى لِأَعْلَى وَأَسْفَل عَلَى أُسْطُوَانَةٍ تَدُورُ بِبُطْءٍ ، لِيُسَجِّلَ الضَّغْطَ الْجَوِّىَ عِنْدَ كُلِّ لَحْظَةٍ .



يُسَبِّبُ الضَّغْطُ الْجَوِّىُ ارْتِفَاعَ وانْخِفَاضَ الزِّئبَق فِى هَذِهِ الْأَنَابِيبِ . وَارْتِفَاعُ الزِّئبَقِ يَدُلُّ عَلَى الضَّغْطِ الْجَوِّى ، وَلَيْسَ حَجْمَ الْأُنْبُوبِ . وَعِنْدَ سَطْحِ الْبَحْرِ يَكُونُ ارْتِفَاعُ الزِّئْبَقِ ٧٦ سم تَقرِيبا .

نِصْفَا كُرَة مَجْد بُرْج

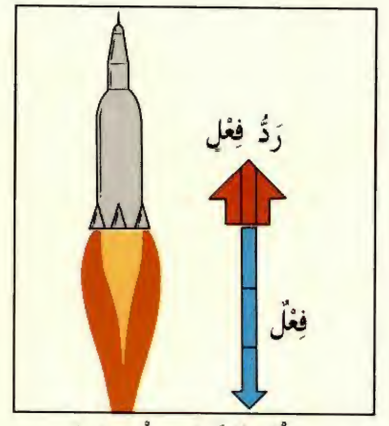
يُمْكِنُ إِثْبَاتُ وُجُودِ الضَّغْطِ الْجَوِّى بِنِصْفَى كُرَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ . فَتُفَرَّغُ الكرة ذَات النصفين تَقْرِيبًا من الْهَواءِ . وَيُلاحَظُ اسْتِحَالَةُ فَصْلِ النِّصْفَيْن ، بِسَبَبِ الضَّغْطِ الْجَوِّى الواقع عَلَيهِمَا مِن الْخَارِجِ .

كَيْفَ يُطْلَقُ الصَّارُوخُ ؟

تُقْذَفُ الصَّوَارِيخُ إلى الفضاءِ الخارِجِيّ بِإشْعَالِ مُسَيِّراتٍ صُلْبَةٍ أَوْ سَائِلَةٍ . فَتَشْعَلُ هَذِهِ المُسَيِّراتُ فِى غرَفِ احْتِرَاقٍ قَوِيَّةٍ تَحْتوِى عَلى وَقُودٍ وَمَادَّةٍ مُؤَكْسِدَةٍ ، فَتَتَولَّدُ كَمِّيَّاتٌ هَائِلَةٌ مِن الضَّغْطِ وَالْحَرَارةِ ، تَدْفَع غَازَاتِ الْعَادِمِ تُجَاهَ الْأَرْضِ خِلَالَ فُتْحَاتِ التَّمَدُّدِ . فَيَنْدَفِعُ الصَّارُوخُ مُنْطَلِقًا . وقَدْ وَصَفَ هَذِهِ الظَّاهِرَةَ القانونُ الثالثُ لِنيُوتِن الَّذى يَنُصُّ على أَنَّهُ لِكُلِّ فِعْلٍ رَدُّ فِعْلٍ مُسَاوٍ لَهُ فِى الْمِقْدَارِ وَمُضَادٌّ فِى الاتِّجَاهِ . وَيُفَضَّلُ الْوَقُودُ السَّائِلُ فِى الصَّوَارِيخ لِسُهُولَةِ التَّحكُّمِ فِيهِ عن الْوَقُودِ الصُّلْبِ ، كَمَا فِى صَارُوخِ سَاتيرن ٥ (يمين). وهُو صَارُوخٌ ذُو ثَلاثِ مَرَاحِلَ يَحْرِقُ آلافَ الْأَطْنَانِ مِن سَائِلِ الْهَيدْرُوجِين والْأُكْسُجين لِيَضَعَ كَبْسُولَةً فَضَائِيَّةً فِى مَدَارِهَا .

الهُرُوبُ مِن الجَاذِبِيَّةِ

لِيَرْتَفِعَ عَن الْأَرْضِ ، يَجِبُ أَنْ تَزِيدَ قُوَّةُ دَفْعِ الصَّارُوخِ عَن وَزْنِهِ بِحَوالَى ٣٠٪. وَإِذَا كَانَت الْكَبْسُولَةُ سَتَدُورُ فِى مَدَارِهَا ، يَجِبُ أَنْ تَصِلَ سُرْعَتُهَا إِلَى ٢٦٠٠٠ قَدَم/ثَانية. وَتُوَلِّدُ الصَّوَارِيخُ دَفْعًا يَبْلُغُ حَوالَى مِلْيُون رِطْلٍ/بُوصَة٢ .



١ ــ الْمُحَرِّكَاتُ الْخَمْسُ لِلْمَرحلَةِ الْأُولَى تَرْفَعُ الصَّارُوخَ إلى ٣٠ ــ ٥٠ مِيْلًا . وتَسْقُطُ الْمَرْحَلَةُ الْأُولَى بَعْدَ اسْتِهْلَاكِ وَقُودِهَا ، وَتَبْدَأُ مُحَرِّكَاتُ الْمَرْحَلَةِ الثَّانِيَةِ الاحتراق

١٨٠٠٠ قدم/ث

مرحلة أولى استهلكت

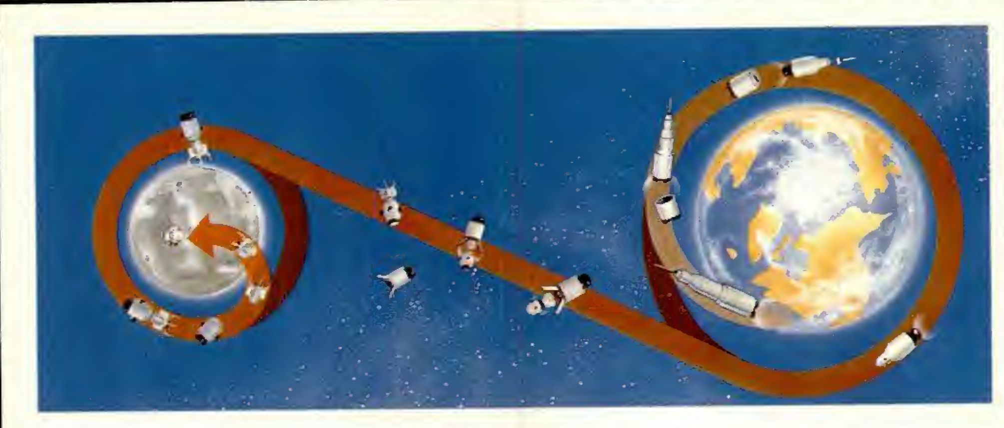


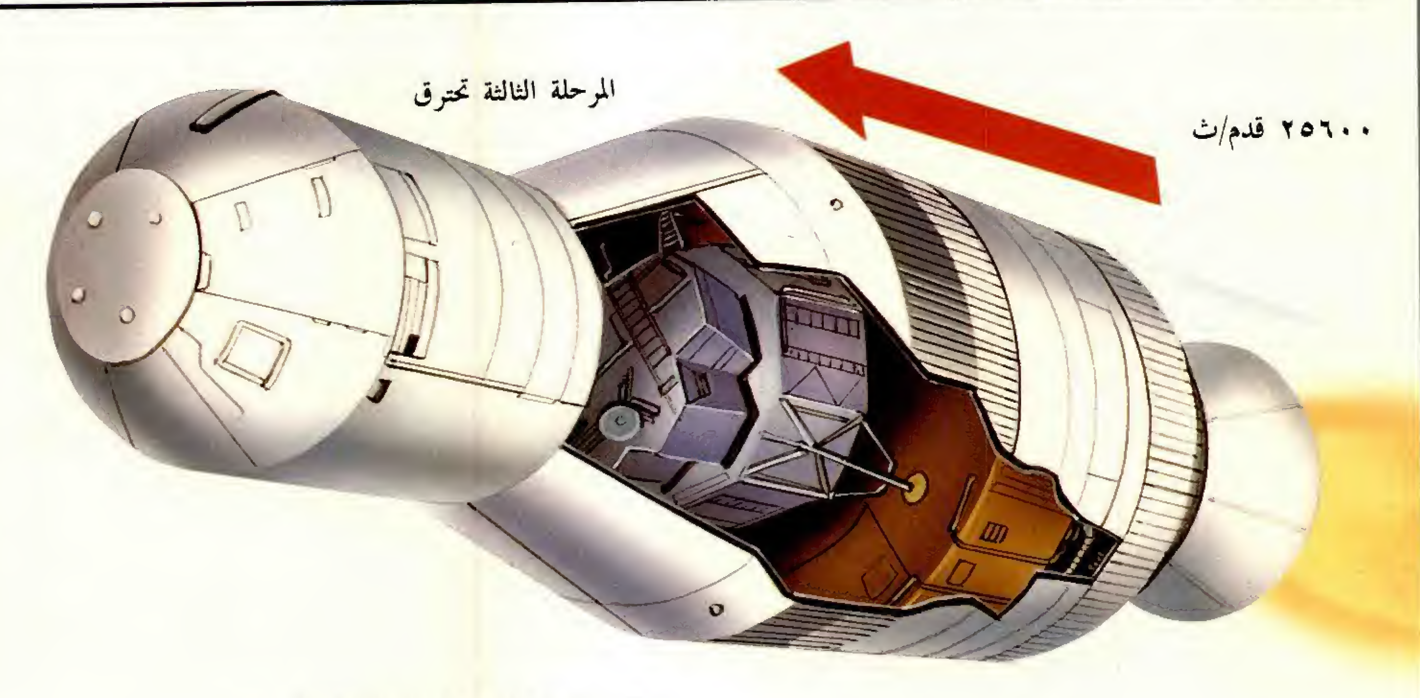
مُحَرِّكُ مَرْحَلَةٍ أولى يَحْرِقُ الْوَقُودَ ، [illegible] ـجُ الْعَادِمِ .

الْمَرحَلةُ الثالثة
هَيْدرُوجين سَائِل
أُكْسُجين سائل
هَيْدرُوجين سَائِل
المرحَلةُ الثَّانية
أُكْسُجين سائل
أُكْسُجين سائل
الْمَرْحَلةُ الْأُولَى
غُرْفَةُ احْتِراق

رِحْلَةٌ إلى الْقَمَر

عِنْدَ الاسْتِقْرَارِ فِى مَدَارٍ ، يُطْلَقُ أَبُولُّلو تُجَاهَ الْقَمَرِ . وتَسْقُطُ الْمَرْحَلَةُ الثَّالِثَةُ ، وَتُوَجَّهُ وَحْدَةُ مَرْكَبَاتِ الْأَوامِرِ والخِدْمَاتِ إِلَى مَدَارٍ حَوْلَ الْقَمَرِ عَلَى بُعْدِ ٦٠ ميلا ، وَتَهْبِطُ المْرْكَبَةُ الْقَمَرِيَّةُ عَلَى سَطْحِهِ . وَبَعْدَ أَنْ تُعِيدَ فَرِيقَ الاسْتِكْشَافِ ، يَتِمُّ إِحْرَاقُ المَرْكَبَةِ الْقَمَرِيَّةِ .

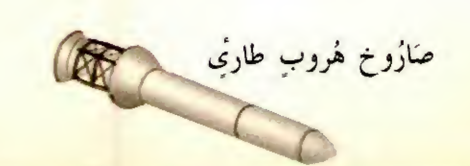




٣ ــ وَيَتَحَرَّكُ الصَّارُوخُ بِمُحَرِّكِ الْمرحَلِةِ الثَّالِثَةِ فقط ، وَيَدْفَعُ مَرْكَبَةَ فَضَاءِ أَبُولُّلو إِلى مَدَارٍ مُؤَقَّتٍ حَوْلَ الْأَرْضِ عَلَى ارْتِفَاعِ ٢٠٠ ميلٍ . وَيَشْتَعِلُ الْمُحَرِّكُ ثَانِيًا ، وَيَزِيدُ السُّرعَةَ إلى ٣٦٠٠٠ قدم/ث وَيُرْسِلُ المَرْكَبَةَ نَحْوَ الْقَمرِ .

٢ ــ بَعْدَ ١٢ دَقِيقَةً مِن الْانطِلَاقِ ، تَكُونُ الْمَرحَلَةُ الثَّانِيةُ قَد حَمَلت الصَّارُوخَ إِلَى ارْتِفَاعٍ يَزِيدُ عَلى ١٠٠ ميلٍ ، ثُمَّ تَسْقُطُ فَارِغَةً . وَيَنْفَصِلُ أَيْضًا صَارُوخُ الْهُروبِ الطَّارِئ .

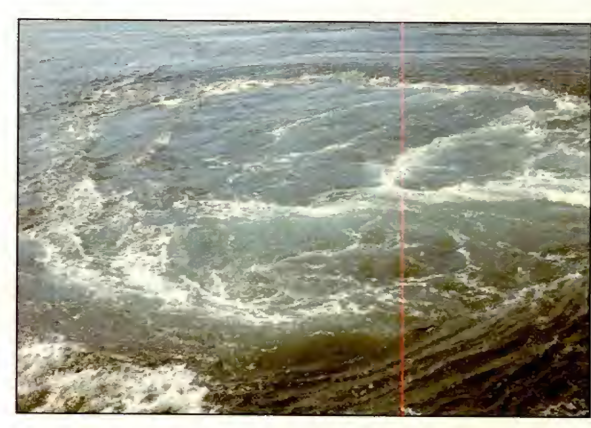
مرحلة ثانية استهلكت



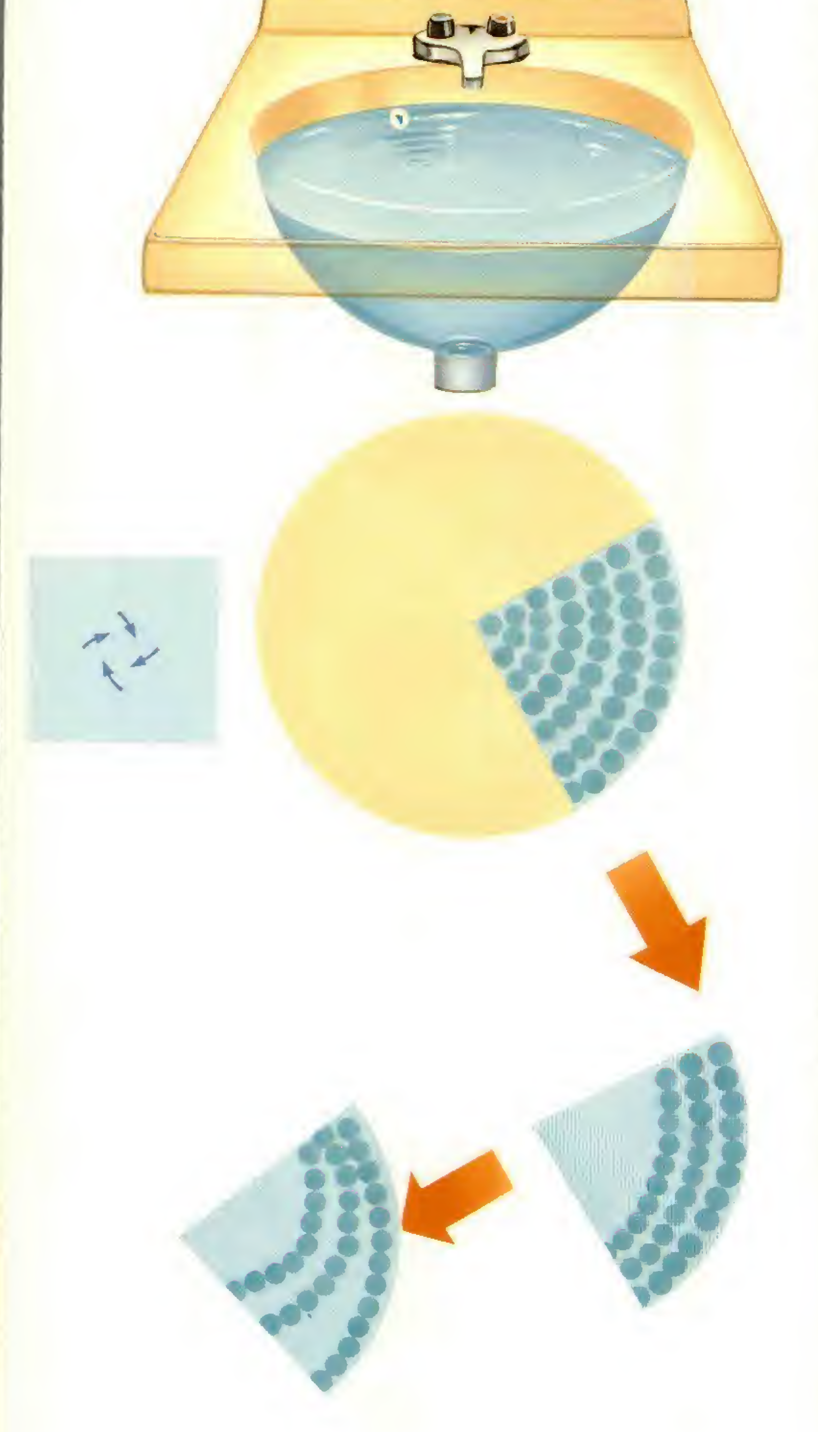
صَارُوخ هُروبٍ طارِئ

كَيْفَ تتكوَّنُ الدُّوَّامَاتُ ؟

تَتَكَوَّنُ الدُّوَّامَاتُ الطَّبِيعِيَّةُ فِى الْمُحِيطَاتِ والْجَدَاوِلِ والأَنْهَارِ . وَتَنْتُجُ عَنْ تَفاعُلِ الْمَدِّ أَو التَّيَّاراتِ أَو وُجودِ أَجْسَامٍ تُغَيِّرُ مَسَارَ المَاء . وَلَكِنَّ الدُّوَّامَاتِ قَد تَتَكَوَّنُ أَيْضًا عِنْدَ تَفْرِيغِ السَّوَائِلِ مِن الأَحْوَاضِ أَو الأَنَابِيبِ خِلالِ فُتْحَةِ صَرْفٍ ، وَيَنْسَابُ الماءُ لِأَسْفَلَ فِى حَلزُونَاتٍ . وَمِثْلُ هَذِهِ الدُّوَّامَةِ هِىَ نَتِيجَةُ حَرَكَةِ الْجُزَيْئَاتِ الْمُفْرَدَةِ الَّتِى تُكَوِّنُ السَّائِلَ . وَيأْتِى تَأْثِيرُ الجَاذِبِيَّةِ واللُّزُوجَةِ — أَو مُقَاوَمَةِ الانْسِيَابِ — فِى الْخُطُوَاتِ الْمُبَيَّنَةِ عَلَى الرَّسْمِ (يسار) .



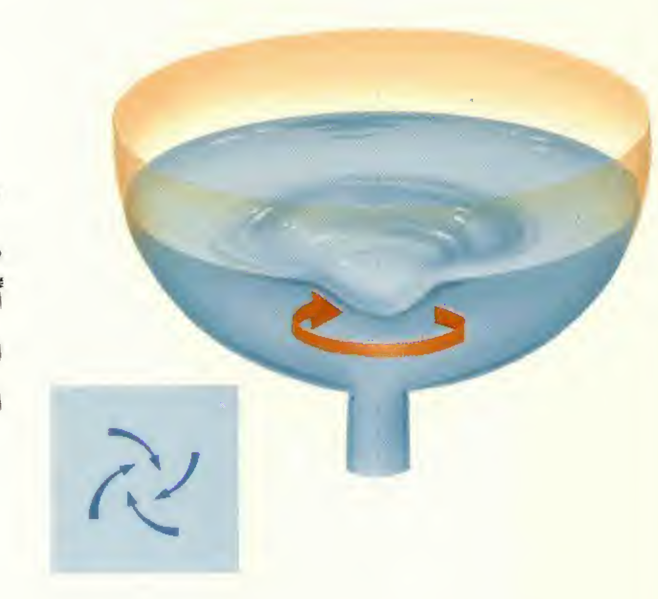
دُوَّامَةٌ تَتَكَوَّنُ فِى الْمُحِيط



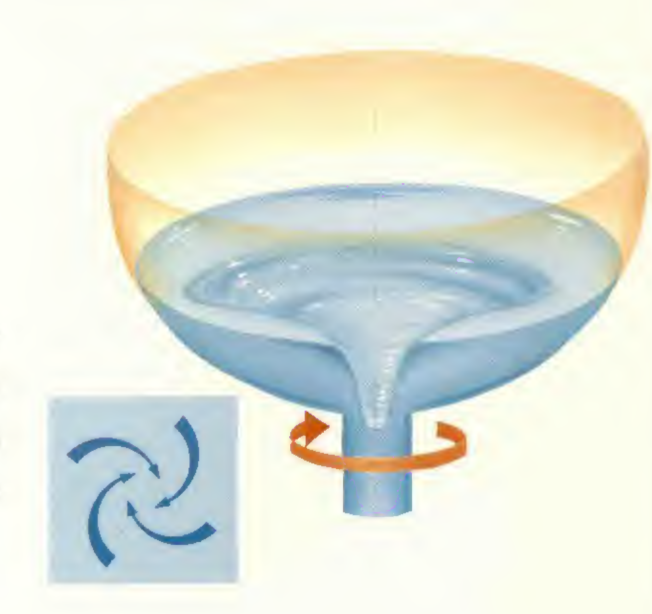
١ — عِنْدَ فَتْحِ الصَّرْفِ ، فَإِنَّ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ فَوْقَ فُتْحَةِ الصَّرْفِ مُبَاشَرَةً ، تُجْذَبُ إِلَى أَسْفَلَ بِالْجَاذِبِيَّةِ وَفِى نَفْسِ الْوَقْتِ ، فَإِنَّ مُقَاوَمَةَ الانْسِيَابِ تُجْبِرُ الْجُزَيْئَاتِ عَلَى الحَرَكَةِ فِى الاتِّجَاهِ الْأُفُقِى .

احْتِكَاكٌ وَلزُوجَةٌ

هَذَا الرَّسْمُ (يسار) يُوَضِّحُ مَسَارَ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ عِنْدَمَا يَتِمُّ تَحرِيكُهَا . فَالْجَاذِبِيَّةُ تَجْذِبُ الْجُزَيْئَاتِ إِلَى أَسْفَلَ جِهَةَ الصَّرْفِ . واللُّزُوجَةُ تُؤَثِّرُ ضِدَّ الْجَذْبِ ، وقُوَّةُ الاحْتِكَاكِ تُؤَثِّرُ عَلَى جُزَيْئَاتِ الماءِ الْمُحِيطَةِ بِحَيْثُ تَصْطَفُّ ثُمَّ تَبْدأُ الْحَرَكَةَ وَاحِدَةً بَعْدَ الْأُخْرَى .

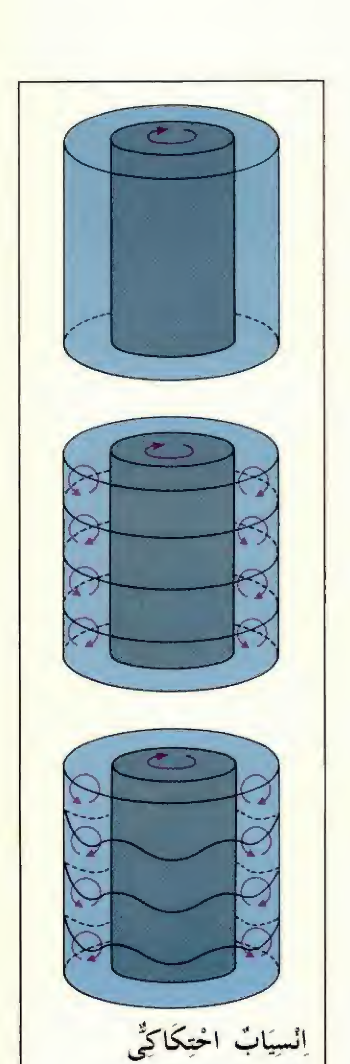


٢ ــ عِنْدَمَا يَبْدَأُ الماءُ فِى التَّحَرُّكِ فِى مَسَارٍ دائِرِىٍّ ، تَتْبَعُهُ جُزَيْئَاتُ مَاءٍ أُخْرَى . وَكُلَّمَا زَادَ قُرْبُ الْجُزَيْئَاتِ مِن الصَّرْفِ ، زَادَتْ سُرْعَةُ حَرَكَتِهَا . أَمَّا الْجُزَيْئَاتُ الْأَبْعَدُ ، فَتَتَحَرَّكُ أَبْطَأَ .



٣ ــ الْمَاءُ الْهَابِطُ حَلَزُونِيًّا فِى الصَّرْفِ ، يُحْدِثُ انْخِفَاضًا لِسطْحِ السَّائِلِ عِنْدَ المركَزِ ، وَيَتَكَوَّن عَمُودٌ مِن الهوَاءِ عِنْدَ مَرْكَزِ الدُّوَّامَةِ .

٤ ــ عِنْدَمَا يَنْخَفِضُ مُسْتَوَى الْمَاءِ فِى الْحَوْضِ ، يَتَعَمَّقُ عَمُودُ الْهَوَاءِ فِى أُنْبُوبِ الصَّرْفِ . وَتَسْتَمِرُّ الدُّوَّامَةُ حَتَّى يَنْتَهِى صَرْفُ الماءِ كُلِّهِ .



انْسِيَابٌ احْتِكَاكِىٌّ

الْمَاءُ الْمَحْصُورُ بَيْنَ الأُسْطُوانَتَيْنِ يَتْبَعُ دَوَرَانَ الأُسْطُوانَةِ الدَّاخِلِيَّةِ . وَيَدُورُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ بِالْقُرْبِ مِنْهَا عَنْهُ بَعِيدًا عَنْهَا . وَهَذِهِ السُّرعَاتُ الْمُخْتَلِفَةُ تُحْدِثُ مَوْجَاتٍ . وَتَتَكَوَّنُ التَّيَّارَاتُ الدُّوَّامِيَّةُ عِنْدَمَا تُسْحَبُ الْمِيَاهُ بَطِيئَةُ الْحَرَكَةِ بِالْمِيَاهِ سَرِيعَةِ الْحَرَكَةِ .

لِمَاذَا يَغْلِى الْمَاءُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ عِنْدَ الارتِفَاعَاتِ الْعَالِيَةِ ؟

عِنْدَ مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحْرِ يَبْدَأُ الْمَاءُ الْمُسَخَّنُ فِى الْغَلَيَانِ عِند ١٠٠°م (٢١٢°ف)، أَىْ أَنَّ فُقَّاعَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ تَتَكَوَّنُ فِى الماءِ وَتَرْتَفِعُ إِلَى سَطْحِهِ . وَيَحْدُثُ ذَلِكَ ، لِأَنَّهُ عِنْدَ هَذِهِ

٣٠٠٠٠ قدم

٧٥°م
١٦٧°ف

٢٠٠٠٠ قدم

٨١°م
١٧٧°ف

٩٠°م
١٩٤°ف

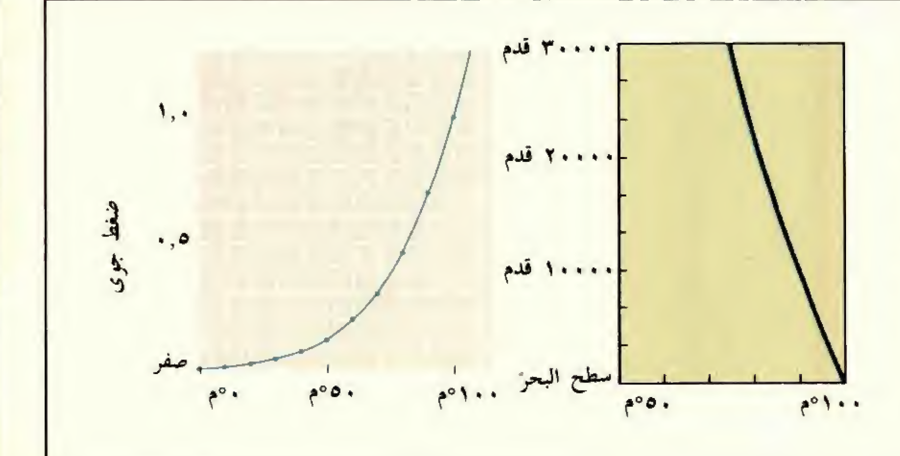
١٠٠٠٠ قدم

١٠٠°م
٢١٢°ف

سطح البحر

عَامِلُ الحَرَارَةِ والارتِفَاع

هَذَا الرَّسْمُ الْبَيَانِى يَبَيِّنُ الْعَلَاقَةَ بَيْنَ ضَغْطِ الْبُخَارِ وَدَرَجَةِ الْحَرَارَةِ . فَعِنْدَ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ الْعَالِيَةِ ، يَرْتَفِعُ ضَغْطُ الْبُخَارِ بِسُرْعَةٍ . وَيَغْلِى الْمَاءُ فَقَط عِنْدَمَا يَزِيدُ ضَغْطُ الْبُخَارِ عَن الضَّغْطِ الْجَوِّى . ومِنْ نَاحِيَةٍ أُخْرَى ، فَإِنَّهُ إِذَا انْخَفَضَ الضَّغْطُ الْجَوِّى ، فَإِنَّ دَرَجَةَ الْغَلَيَانِ تَنْخَفِضُ كَذَلِكَ . والرَّسْمُ الْبَيَانِى الْبَعِيدُ يُوضِّحُ عَلَاقَةَ الْارْتِفَاعِ بِدَرَجَةِ غَلَيَانِ الْمَاءِ . فَكُلَّمَا زَادَ الْارْتِفَاعُ ، كُلَّمَا انْخَفَضَتْ دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الَّتى يَغْلِى عِنْدَهَا الْمَاءُ .

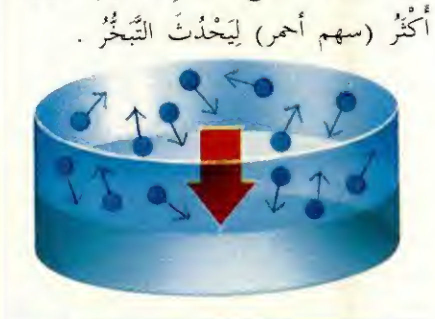


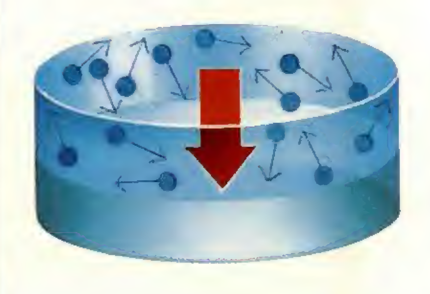
الدَّرَجَةِ ، يَزِيدُ ضَغْطُ بُخَارِ الْمَاءِ قَلِيلاً عَنِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ . وَيَكُونُ الضَّغْطُ الْجَوِّيُّ أَقَلَّ كَثِيرًا عِنْدَ الْارْتِفَاعَاتِ الْعَالِيَةِ ، فَيَغْلِي الماءُ عِنْدَ دَرَجَاتِ حَرَارَةٍ أَقَلَّ . وَبِالْعَكْسِ ، فَإِذَا زَادَ الضَّغْطُ عَلَى السَّائِلِ ، تَحْتَ مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحرِ مَثَلًا أَوْ دَاخِلَ إِنَاءِ طَهْيٍ ضَغْطِي – فَإِنَّ الْمَاءَ يَغْلِي عِنْدَ دَرَجَاتِ حَرَارَةٍ أَعْلَى . والرَّسْمُ عَلَى هَذِهِ الصَّفَحَاتِ يُوَضِّحُ نُقَطَ الْغَلَيَانِ عِنْدَ ارْتِفَاعَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ .

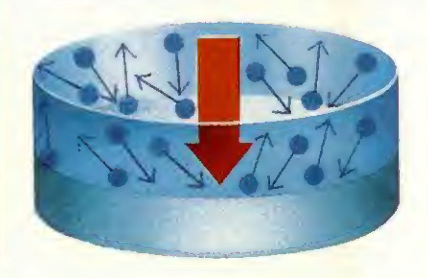
طَاقَةُ الْحَرَكَةِ

طَاقَةُ الْحَرَكَةِ أَيْ طَاقَةُ حَرَكَةِ الْجُزَيْئَاتِ تَلْعَبُ دَوْرًا كَبِيرًا عِنْدَمَا يَتَحَوَّلُ الماءُ إِلَى بُخَارٍ . فَعِنْدَمَا يَكونُ مُسْتَوَى الطَّاقَةِ عَالِيًا ، تَتَبَخَّرُ جُزَيْئَاتٌ كَثِيرَةٌ ، هَارِبَةٌ مِنَ الرَّوَابِطِ الَّتِي تَجْعَلُهَا فِي الْحَالَةِ السَّائِلَةِ . وَتَحْتَ ضَغْطٍ مُنْخَفِضٍ (أسفل) يَكُونُ لَدَى الْجُزَيْئَاتِ طَاقَةٌ كَافِيَةٌ لِتَكْوِينِ فَقَاقِيعَ غَازِيَّةٍ لِلتَّبَخُّرِ دُونَ إِضَافَةِ حَرَارَةٍ كَثِيرَةٍ . وبِالْقُرْبِ مِن مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحْرِ ، تَلْزَمُ حَرَارَةٌ أَكْثَرُ (سهم أحمر) لِيَحْدُثَ التَّبَخُّرُ .

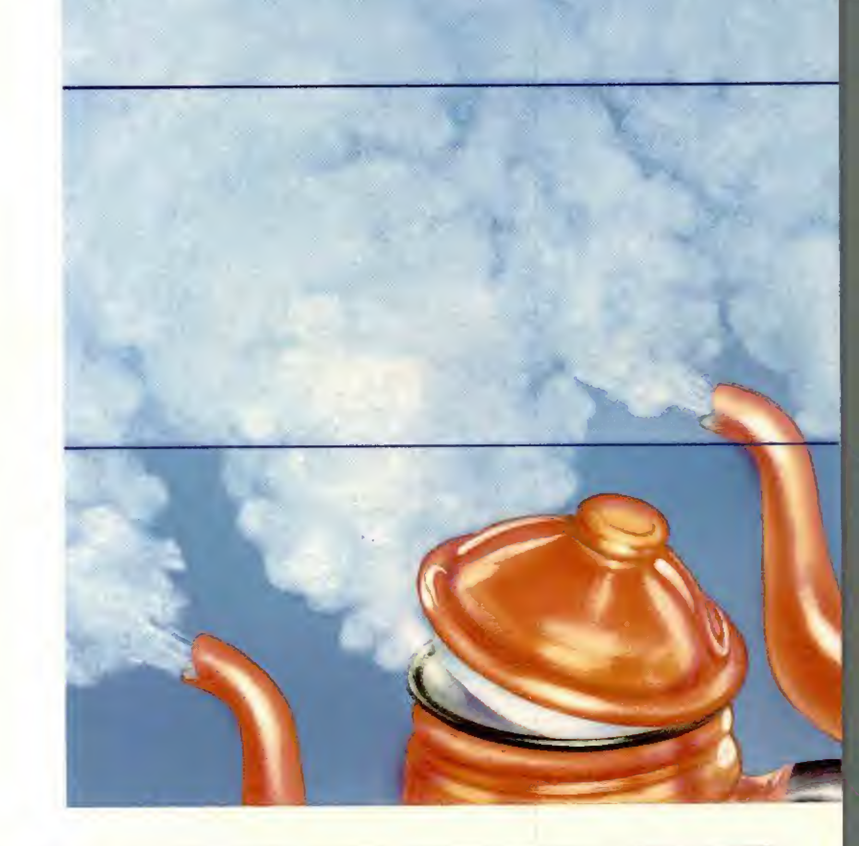
ضَغْطٌ جَوِّيٌّ أَقَلُّ





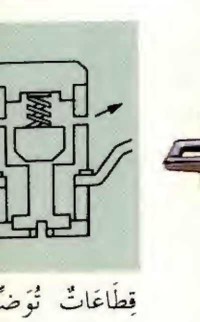


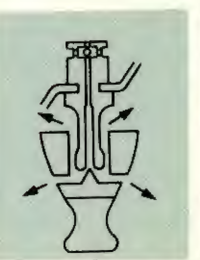
ضَغْطٌ جَوِّيٌّ أَعْلَى



إِسْرَاعُ زَمَنِ الطَّهْيِ

الْقُدُورُ الضَّغْطِيَّةُ (يسار) تَحْتَفِظُ بِضَغْطٍ مُتَزَايِدٍ دَاخِلَهَا . وعِنْدَ مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحْرِ ، فَإِنَّ الْأَوَانِيَ الْمُحْكَمَةَ تَرْفَعُ دَرَجَةَ غَلَيَانِ الْمَاءِ إِلَى ١٢١°م (٢٥٠°ف) . ودَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الْعَالِيَةُ تَعْنِي أَنَّ الطَّعَامَ يَنْضَجُ أَسْرَعَ ، وَيُوَفِّرُ الْوَقْتَ .





قِطَاعَاتٌ تُوَضِّحُ مِيكَانِيكِيَّةَ الْقِدْرِ الضَّغْطِيِّ الَّتِي تَمْنَعُ زِيَادَةَ الضَّغْطِ لِدَرَجَةِ الانْفِجَارِ . فَصِمَامُ الْأَمَانِ (يمين) ، والْمُنَظِّمُ (وسط) ، وَإِحْكَامُ الْحَافَةِ (يسار) كُلُّهَا تُسَاعِدُ عَلَى التَّحَكُّمِ فِي الضَّغْطِ بالسَّمَاحِ لِلْبُخَارِ بِالْخُرُوجِ .

2 الْجَاذِبِيَّةُ وَالْحَرَكَةُ



حَرَكَةُ كُلِّ جِسْمٍ فِى الْكَوْنِ ــ مِن الذَّرَّاتِ وَالْجُزَيْئَاتِ إِلى النُّجُومِ والْمَجَرَّاتِ ــ تَخْضَعُ لِبِضْعَةِ قَوانِينَ أَساسِيَّةٍ . وَقَدْ وَضَعَ أَحْسَنَ صِياغة لِهَذِهِ الْقَوانِينِ الْعَالِمُ الْفِيزْيَائِىُّ الإِنْجِلِيزِىُّ سِير إِسْحَاق نِيُوتِن ، الَّذِى هَزَّ الْعَالَمَ بِكِتَابِه « الْمَبَادِئُ الرِّيَاضِيَّةُ لِلْفَلْسَفَةِ الطَّبِيعِيَّةِ » فَبِالإِضَافَةِ لِوَصْفِ نَظَرِيَّةِ الْجذبِ العَامِ الْكَوْنِيَّةِ ، فَقَدْ ضَمَّنَ الْقَوانِينَ الثَّلاثَةَ لِلْحَرَكَةِ فِى هَذَا الْكِتَابِ .

وَيَنصُّ قَانُونُ الْحَرَكَةِ الْأَوَّلِ لِنِيُوتِن عَلَى أَنَّ الْأَجْسَامَ الْمُتَحَرِّكَةَ تَسْتَمِرُّ فِى الْحَرَكَةِ فِى خطٍّ مُسْتَقِيمٍ ، وَأَنَّ الْأَجْسَامَ ، السَّاكِنَةَ تَظَلُّ سَاكِنَةً ، إِلَّا إِذَا أَثَّرتْ عَلَيْهَا قُوَّةٌ خارِجِيَّةٌ . وَتَلْعَبُ نظَرِيَّةُ الْقُصُورِ الذَّاتِى (ص ٢٨ ــ ٢٩) دَوْرًا فِى الأَجْسَامِ الْمُتَحَرِكَةِ مِن الْمزْلَجَاتِ إِلَى الْأَقْمَارِ الصِّنَاعِيَّةِ . ويَصِفُ الْقَانُونُ مِقْدَارَ الْقُوَّةِ وَكُتْلَةِ الْجِسْمِ . وَيَنُصُّ الْقَانُونُ الثَّالِثُ عَلَى أَنَّهُ لِكُلِّ فِعْلٍ رَدُّ فِعْلٍ مُسَاوٍ لَهُ فِى الْمِقْدَارِ وَمُضادٌّ لَهُ فِى الاتِّجاهِ . وَفِى حَالِ الصَّوَارِيخِ ، فَإِنَّ الْفِعْلَ هُوَ احْتِرَاقُ أَطْنَانِ الْوقُودِ ، وَرَدُّ الْفِعْلِ هُو قُوَّةُ الدَّفْعِ النَّاتِجَةُ الَّتِى تُطْلِقُ الصَّارُوخَ .

وَرغْمَ أَنَّ قَوانِينَ نِيُوتِن الْآنَ شَائِعَةٌ وَتُدَرَّسُ فِى مُعْظَمِ الْمَدَارِسِ ، إِلَّا أَنَّهَا بَهَرَت الْعَالَمَ عِنْدَ نَشْرِهَا لِأَوَّلِ مَرَّةٍ . وَمَعَ أَنَّ بَعْضَ الظَّواهِرِ تَبْدُو غَيْرَ مُرْتَبطَةٍ مَعًا ــ مِثْل سُقُوطِ تُفَّاحَةٍ وَدَوَرَانِ الْكَوَاكِبِ فِى مَدَارَتِها إِلَّا أَنَّهُ فَسَّرَهَا فِى قَانُونٍ وَاحِدٍ ، هُوَ الْقَانُونُ الْعَامُّ لِلْجَاذِبِيَّةِ .

إِطْلَاقُ كُرَةِ الْقَوْسِ وَتَمَايُلِ الدُّوَّارَةِ (يسار) تَخْضَعُ لِقَوانِينِ الْحَرَكَةِ ، وَتَأْخُذُ أَشْكَالًا غَيْرَ مَأْلُوفَةٍ .



كيفَ يتحركُ المتزلّجون على الْجَليد بسُرْعَةٍ فائقة ؟

يَسْتَطِيعُ الْمُتَزَلِّجُونَ السَّبَّاق عَلَى مُنْحَدَرٍ بِسُرْعَةٍ قَدْ تَصِلُ إِلَى ١٠٠ ميل/ ساعَةً ، لأَنَّهُ يُمْكِنُهُمُ التَّغَلُّبُ عَلَى الْاحتِكَاكِ الَّذِى يَعُوقُ انْزِلاقَ جِسْمٍ آخَرَ . وَعِنْدَمَا يخْطُو الْمُتَزَلِّجُ عَلَى مُنْحَدَرٍ ، فَإِنَّ الْاحتِكَاكَ يُثَبِّتُ الْمِزْلَجَةَ فِى الْجَلِيدِ . وَلَكِنَّ وَزْنَ الْمُتَزَلِّجِ يُؤَثِّرُ بِقُوَّةٍ عَمُودِيَّةٍ عَلَى الْمُنْحَدرِ تُسَبِّبُ انْصِهَارَ طَبَقَةٍ رَقِيقَةٍ مِنْ الْجَلِيدِ تَحْتَ الْمِزْلَجَةِ ، وَتُكَوِّنُ غِشَاءً رَقِيقًا مِنَ الْمَاءِ . وَيَعْمَلُ هَذَا الْغِشَاءُ كَمَادَّةٍ مُزَلِّقَةٍ ، تُقَلِّلُ قُوَّةَ مُقَاوَمَةِ الْاحْتِكَاكِ إِلَى مِقْدَارٍ صَغِيرٍ جِدًّا يُتِيحُ لِقُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ أَنْ تَجْذِبَ الْمُتَزَلِّجَ إِلَى أَسْفَلِ الْمُنْحَدرِ . وَبَيْنَمَا يَتَقَدَّمُ الْمُتَزَلِّجُ إِلَى الْأَمَامِ ، فَإِنَّ الْحَرَارَةَ النَّاتِجَةَ عَنْ حَرَكَةِ الْمِزْلَجَةِ عَلَى الْجَلِيدِ ، تَعْمَلُ دَوْمًا عَلَى انْصِهَارِ جَلِيدٍ جَدِيدٍ تَحْتَها . وَيُمْكِنُ لِلْمُتَزَلِّجِ أَنْ يَزِيدَ سُرْعَتَهُ بِتَغْطِيَةِ قَاعِدَةِ الْمِزْلَجَةِ بِالشَّمْعِ الَّذِى يَطْرُدُ الْمَاءَ ، وَيَجْعَلُ الاحْتِكَاكَ أَقَلَّ .

وَلِنَفْسِ السَّبَبِ ، يَنْزَلِقُ الْمُتَزَحْلِقُونَ عَلَى طَبَقَةٍ رَقِيقَةٍ مِنْ الْمَاءِ بَيْنَ قَاعِدَةِ حِذَاءِ التَّزَحْلُقِ وَالْجَلِيدِ : والضَّغْطُ الْكَبِيرُ النَّاتِجُ عن السِّلَاحِ الضَّيِّقِ فِى قَاعِدَةِ الْحِذَاءِ يُسَبِّبُ انْصِهَارَ الْجَلِيدِ . مِمَّا يُلْغِى الاحْتِكَاكَ تَقْرِيبًا .



مُتَزَلِّجٌ يَتحرَّك

عِنْدمَا يَنْزَلِقُ مُتَزَلِّجٌ إِلَى أَسْفَلِ الْمُنْحَدرِ فَإِنَّ قُوَّةَ الْجَاذِبِيَّةِ تَتَغَلَّبُ عَلَى الْاحْتِكَاكِ . وَحَرَكَةُ وَضَغْطُ الْمِزْلَجَةِ عَلَى الْجَلِيدِ تُسَخِّنُ الْجَلِيدَ فَيَنْصَهِرُ مُكَوِّنًا غِشَاءً رَقِيقًا مُزَلِّقًا مِن الْمَاءِ تَحْتَ الْمِزْلَجَةِ . وهَذَا يَزِيدُ سُرْعَةَ الْمُتَزَلِّجِ .

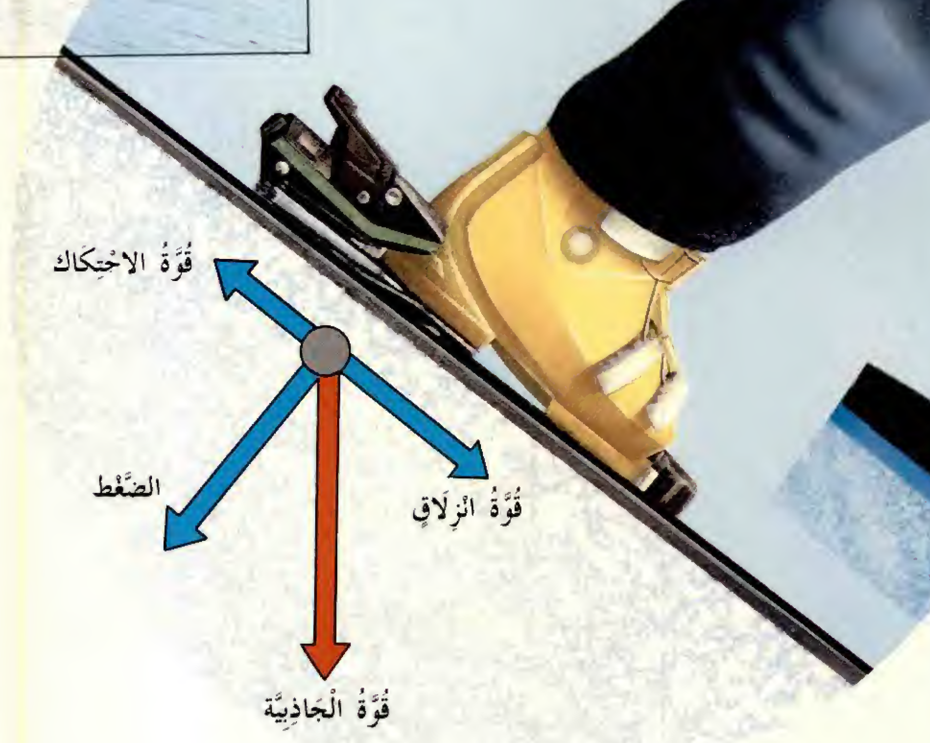


مُتَزَلِّجٌ يَبْدَأُ

فِي الْبِدَايَةِ يَعْمَلُ الْاحْتِكَاكُ بَيْنَ الْمِزْلَجَةِ والْجَلِيدِ كَحَاجِزٍ يَمْنَعُ الْمُتَزَلِّجَ مِن الْحَرَكَةِ لِأَسْفَلَ . وَلَكِنْ بِمُجَرَّدِ أَنْ يُوَلِّدَ وَزْنُ الْمُتَزَلِّجِ ضَغْطًا عَلَى الْجَلِيدِ ، فَإِنَّ الْجَلِيدَ يَبْدَأُ فِي الْانْصِهَارِ ، وَيَنْزَلِقُ الْمُتَزَلِّجُ لِأَسْفَلَ .

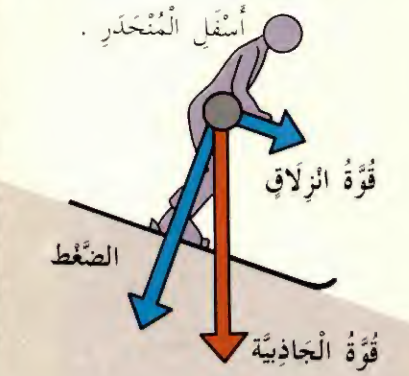


سَيِّدَةٌ تَهْبِطُ الْمُنْحَدِرِ



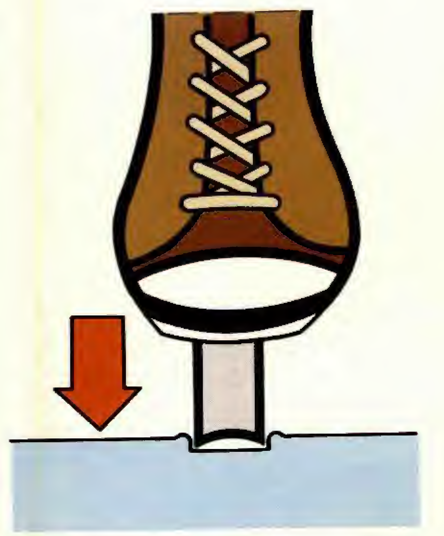
الْقُوى الْمُؤَثِّرَةُ عَلَى مُتَزَلِّجٍ

قُوَّةُ الجَاذِبِيَّةِ لِمُتَزَلِّجٍ عَلَى مُنْحَدِرٍ ، يَكُونُ لَهَا مُرَكَّبَتانِ . إِحْدَاهُمَا عَمُودِيَّةٌ عَلَى الْمُنْحَدِرِ تَضْغَطُ عَلَى الْجَلِيدِ لِأَسْفَلَ ، وَالثَّانِيَةُ مُوَازِيَةٌ لِلْمُنْحَدِرِ تُحَرِّكُ الْمُتَزَلِّجَ إِلَى أَسْفَلِ الْمُنْحَدِرِ .



التَّزَحْلُقُ عَلَى الْجَلِيدِ

يَتَحَرَّكُ الْمُتَزَحْلِقُونَ عَلَى الْجَلِيدِ — مِثْلَ الْمُتَزَلِّجِينَ — عَلَى طَبَقَةٍ رَقِيقَةٍ مِن الْمَاءِ بَيْنَ حِذَاءِ التَّزَحْلُقِ وَالْجَلِيدِ . والضَّغْطُ الْهَائِلُ للسِّلَاحِ الْمُثَبَّتِ أَسْفَلَ الْحِذَاءِ يَرْفَعُ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ لِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ لِانْصِهَارِ الْجَلِيدِ السَّطْحِيِّ . وَكُلَّمَا زَادَ الضَّغْطُ زَادَتْ كَمِّيَّةُ الْجَلِيدِ الْمُنْصَهِرَةُ ، وزَادَتْ بِالتَّالِي سُرْعَةُ الْمُتَزَحْلِقِ .



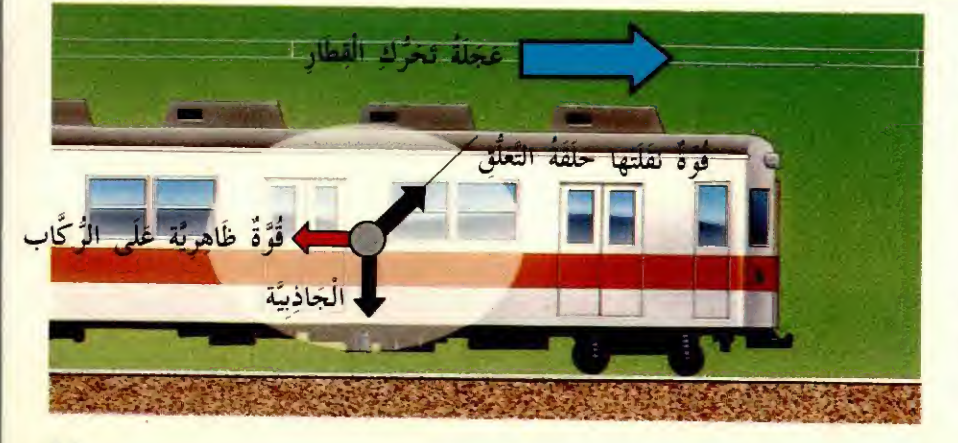


مَا هُوَ الْقُصُورُ الذَّاتِىُّ ؟

لَا تَتحرَّكُ الْأَجْسامُ أَوْ تُغَيِّرُ اتِّجاهَ حَرَكَتِها إِلَّا إِذا أَثَّرتْ عَلَيْها قُوَّةٌ. وَمُقاوَمَةُ الْأَجْسامِ لِحُدوثِ هَذا التَّغَيُّرِ تُسَمَّى الْقُصُورَ الذَّاتِيَّ لِلْجِسْمِ ، الَّذِى يَعْنِى بِبَساطَةٍ أَنَّ الْأَجْسامَ السَّاكِنَةَ تَظَلُّ ساكِنَةً ، وَالْمُتَحَرِّكَةَ تَظَلُّ مُتَحَرِّكَةً إِلَّا إِذا أَثَّرتْ عَلَيْها قُوًى خارِجيَّةٌ . فَعِنْدَ إِبْطالِ مِرْوَحةٍ كَهْرَبِيَّةٍ — مَثَلًا — فَإِنَّ رِيشَ (عوارض) الْمِرْوَحةِ الَّتِى كانَتْ تَدُورُ بِسُرْعَةٍ تَسْتَمِرُّ فِى الدَّورانِ فَتْرَةً ثُمَّ تَقِلُّ سُرْعَتُها وَتَقِفُ . وَلَوْلَا الْمُقاوَمَةُ بَيْنَ الْعَوارِضِ وَالْمُحَرِّكِ ، وَمُقاوَمَةُ الْهَواءِ ، لَاسْتَمَرَّت الْعَوارِضُ فِى الدَّورانِ إِلَى مَا لَانِهايَةَ حَتَّى بَعْدَ إِيقافِ تَشْغِيلِ الْمِرْوَحةِ . وَبِمُجَرَّدِ تَوَقُّفِ الْعَوارِضِ ، فَإِنَّها لَا يُمْكِنُ أَنْ تَبْدَأَ الْحَرَكَةَ مِنْ نَفْسِها وَالْقُوَّةُ ، فِى هَذِهِ الْحالَةِ ، هِىَ الْمُحَرِّكُ الْكَهْرَبِىُّ اللَّازِمُ لِبَدْءِ الْحَرَكَةِ واسْتِمْرارِها . وَقابِلِيَّةُ الْأَجْسامِ لِلاحْتِفاظِ بِحالَتِها الْحَرَكِيَّةِ — سُكُونٍ أَوْ حَرَكَةٍ — تُوَضِّحُ لِماذا يَسْقُطُ رُكَّابُ قِطارٍ إِلَى الْخَلْفِ أَو الْأَمامِ عِنْدَما يَبْدَأُ الْقِطارُ حَرَكَتَهُ أَوْ عِنْدَما يَتَوَقَّفُ (أسفل) . وَمُنْذُ أَنْ بَحَثَ الْفَيْلَسُوفُ الْإِغْرِيقِىُّ أَرِسْطُو عَن الْقُصُورِ الذَّاتِىِّ ، وَالْمُفَكِّرُونَ مُتَحَيِّرُونَ فِى هَذِهِ الظَّاهِرَةِ . وَفِى عامِ ١٦٣٥ أَجْرَى الْعالِمُ الْإِيطالِىُّ جالِيلِيُو جالِيلِى سِلْسِلَةَ تَجارِبَ مُسْتَخْدِمًا كُراتٍ تَتَدَحْرَجُ إِلَى أَسْفَلِ مُسْتَوَياتٍ مائِلَةٍ ، وَتوصَّلَ إِلَى أَوَّلِ مَفْهُومٍ حَدِيثٍ لِوَصْفِ الْقُصُورِ الذَّاتِىِّ . واسْتَفادَ سِيرْ إِسْحاق نِيُوتن مِنْ أَعْمالِ جالِيلْيُو ، وَأَضافَ إِليها نَتائِجَهُ وَوَصَفَها كُلَّها فِى قانُونِهِ الْأَوَّلِ مِنْ قَوانِينِهِ الثَّلاثَةِ لِلْحَرَكَةِ .

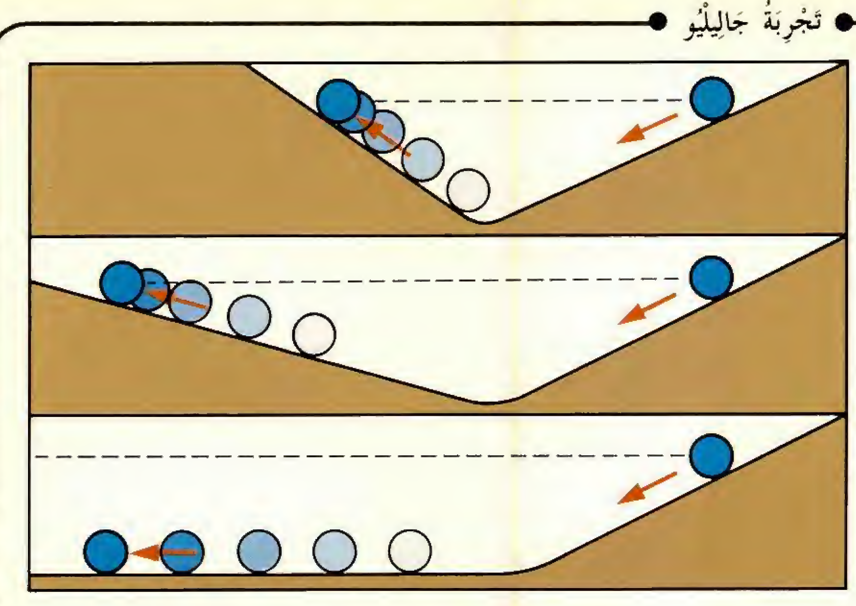
حَرَكَةُ الْقِطارِ

قُوَّةٌ ظاهِرِيَّةٌ عَلَى الرُّكَّابِ



أَجْسامٌ ساكِنَةٌ

فِى الرَّسْمِ الْعُلْوِىِّ ، فُوجِئَ الرُّكَّابُ بِالْقِطارِ يَبْدَأُ حَرَكَتَه ، وَبَدَأُوا يَسْقُطُونَ إِلَى الْخَلْفِ . وَهَذا الرَّسْمُ الْأَيْسَرُ يُوَضِّحُ كَيْفَ تَحْمِلُ حَلَقَةُ التَّعَلُّقِ أَو تَنْقُلُ الْقُوَّةَ اللَّازِمَةَ لِدَفْعِ الرُّكَّابِ لِلْأَمامِ حَتَّى لَايَسْقُطُوا ، بَيْنَما تُبْقِيهِمُ الْجاذِبِيَّةُ الْأَرْضِيَّةُ فِى أَماكِنِهِمْ . وَيَتَأَثَّرُ الرُّكَّابُ بِالْعَجَلَةِ كَما لَوْ كانَتْ قُوَّةٌ خَفِيَّةٌ تَدْفَعُهُمْ لِلْخَلْفِ .



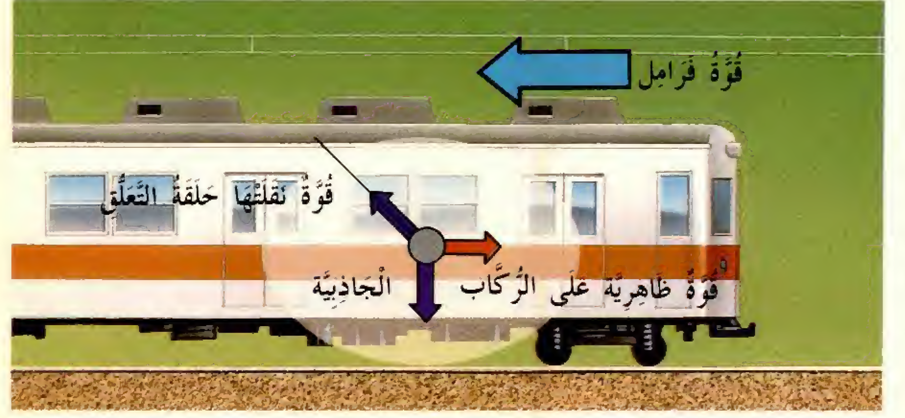
تَمكَّنَ جاليليو مِنْ وَصْفِ الْقُصورِ الذّاتي وَصْفًا صَحيحًا مِنْ خِلالِ مُشاهَداتِهِ لِلْكُراتِ الْمُتَحرِّكَةِ عَلَى مُنْحدَراتٍ . إِذَا لَمْ تُوجَدْ مُقاوَمَةُ احْتِكاكٍ ، فَإِنَّ الْكُرَةَ الْمُنْحدِرَةَ إِلَى أَسْفَلِ الْمُسْتَوَى تَسْتَمِرُّ فِى الْحَرَكَةِ لِتَصْعَدَ عَلَى مُسْتَوًى آخَرَ (أعلى) حَتَّى تَتَغَلَّبَ قُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ عَلَى طاقَتِها الْحَرَكِيَّةِ . كَمَا أَنَّ الْكُرَةَ تَتَحرَّكُ مَسافَةً أَطْوَلَ عَلَى الْمُسْتَوَى الثّانِى (وسط) إِذَا كانَ الْمُستَوَى أَقَلَّ مَيْلًا مِنْهُ فِى الْمِثالِ الْأَوَّلِ . وَذَكَرَ جالِيلْيُو أَنَّهُ كُلَّما قَلَّ مَيْلُ الْمُسْتَوَى الثّانِى ، كُلَّما زادَتِ الْمَسافَةُ الَّتِى تَتَحرَّكُها الْكُرَةُ عَلَيْهِ . فَإِذَا أَصْبَحَ الْمُسْتَوَى الثّانِى أُفقيًا (أسفل) فَإِنَّ الْجاذِبِيَّةَ لَنْ تُؤَثِّرَ عَلَى الْحَرَكَةِ ، وَسَتَسْتَمِرُّ الْكُرَةُ فِى الْحَرَكَةِ عَلَى الْمُسْتَوَى إِلَى الْأَبَدِ .

حَرَكَةُ الْقِطارِ

قُوَّةٌ ظَهرِيَّةٌ
على الرُّكَّاب

أَجْسامٌ مُتَحرِّكَةٌ

تُحْدِثُ فَرامِلُ الْقِطارِ قُوَّةً مُضادَّةً (سهم أزرق) لِحَرَكَةِ الْقِطارِ ، فَيُبْطِئُ حَتَّى يَقِفَ . وَلِأَنَّ الرُّكّابَ لَيْسَتْ لَدَيْهِمْ هَذِهِ الْفَرامِلُ ، فَإِنَّهُمْ يَسْتَمِرُّونَ فِى الْحَرَكَةِ لِلْأَمامِ وَيَسْقُطُونَ . وَتَنْتَقِلُ قُوَّةُ التَّوَقُّفِ إِلَى الرُّكّابِ بِوَاسِطَةِ الْقُوَّةِ الْمَنْقُولَةِ إِلَى حَلَقَةِ التَّعَلُّقِ وَقُوَّةِ الْجاذِبِيَّةِ . وَهَذا التَّغَيُّرُ فِى الْحَرَكَةِ يَجْعَلُ الرُّكّابَ يَشْعُرُونَ بِأَنَّ قُوَّةً خَفِيَّةً تَدْفَعُهم لِلْأَمامِ .



لماذا لا يسقط الأشخاص من قطار الملاهى المقلوب ؟

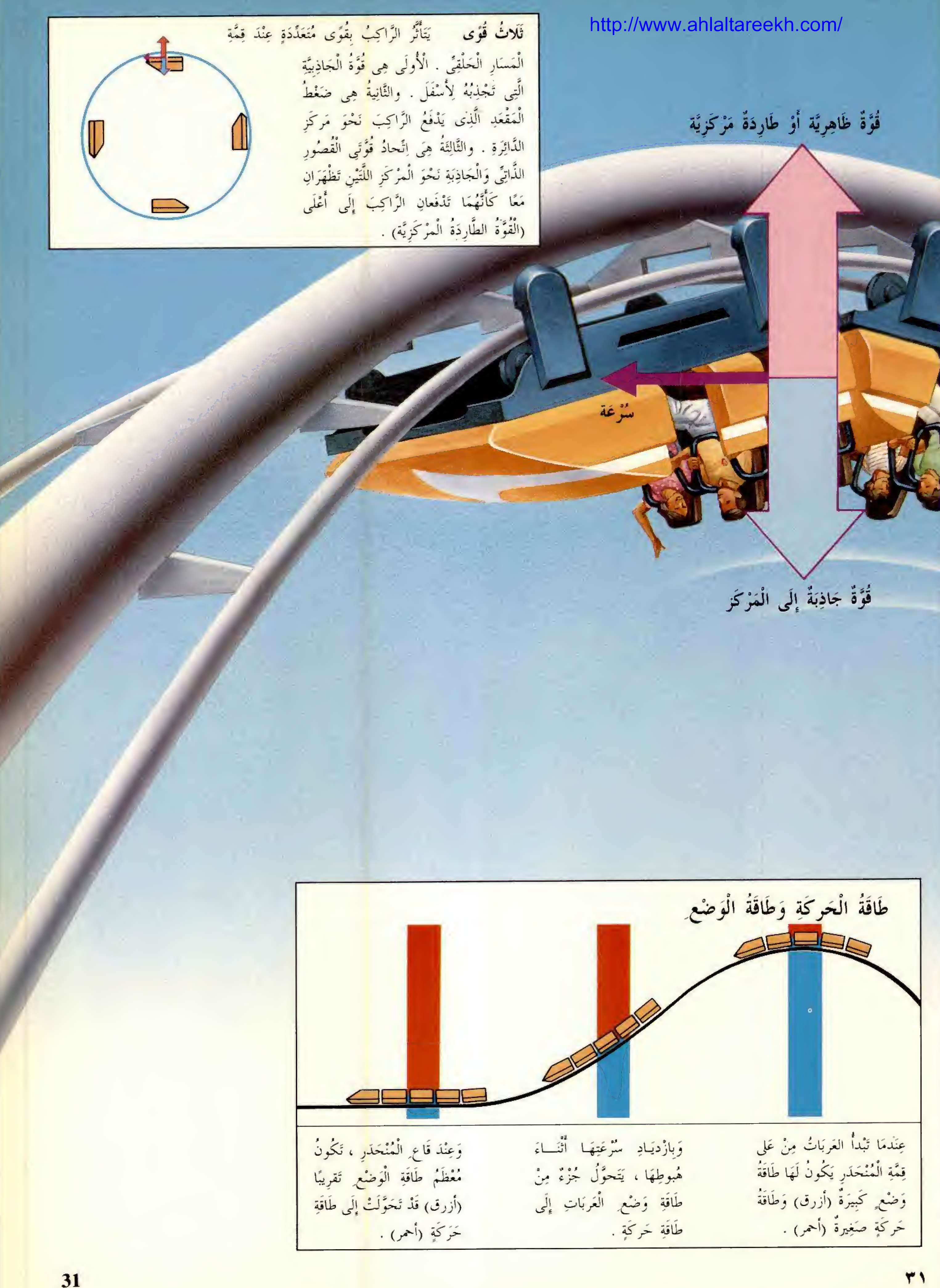
عِنْدَمَا يَدْخُلُ قِطَارُ الْمَلَاهِي السَّرِيعُ إِلَى الْجُزْءِ الْمَقْلُوبِ فِي مَسَارِ حَرَكَتِهِ ، فَإِنَّهُ بِالْإِضَافَةِ لاحْتِيَاطَاتِ السَّلَامَةِ مِنْ عَجَلَاتٍ خَاصَّةٍ وَقُضْبَانٍ مُتَرَاكِبَةٍ ، تُوجَدُ قُوًى مُتَعَدِّدَةٌ تَمْنَعُ الْقِطَارَ وَالرُّكَّابَ مِن السُّقُوطِ إِلَى الْأَرْضِ . والْقُصُورُ الذَّاتِيُّ (ص ٢٨ ــ ٢٩) يَدْفَعُ الْعَرَبَاتِ فِي خطٍّ مُسْتَقِيمٍ بَيْنَما تَضْغَطُ عَلَيْهَا قُضْبَانُ الْمَسَارِ الدَّائِرِيِّ ، فَتَبْدُو الْعَرَبَاتُ كما لَوْ كَانَتْ تُمْسِكُهَا الْقُضْبَانُ . وأَنحِنَاءُ الْمَسَارِ وَتَأْثِيرُ الْجَاذِبِيَّةِ عَلَى الْعَرَبَاتِ تُكَوِّنُ مَعًا قُوَّةً جَاذِبَةً إِلَى الْمَرْكَزِ . وَرَغْمَ أَنَّ الرُّكَّابَ يَشْعُرُونَ بِأَنَّ قُوَّةً خَارِجِيَّةً تَضْغَطُ عَلَيْهِم إِلَى خَارِجِ مَقَاعِدِهِمْ ، إِلَّا أَنَّ هَذِهِ الْقُوَّةَ هِيَ فِي الْحَقِيقَةِ الْقُوَّةُ الْجَاذِبَةُ إِلَى الْمَرْكَزِ ، وَالَّتِي تَتَّزِنُ مَعَ قُوَّةِ الْقُصُورِ الذَّاتِيِّ لِحَرَكَةِ الْعَرَبَاتِ . والْقُصُورُ الذَّاتِيُّ مَعَ الْقُوَّةِ الْجَاذِبَةِ إِلَى الْمَركَزِ يُسَمَّيَانِ مَعًا الْقُوَّةَ الطَّارِدَةَ الْمَركَزِيَّةَ . وَالْقُوَّةُ الطَّارِدَةُ الْمَرْكَزِيَّةُ لَا تُوجَدُ فِي الْحَقِيقَةِ ، وَلَكِنَّ الْأَشْخَاصَ يَسْتَخْدِمُونَ أَحْيَانًا هَذَا الْمُصْطَلَحَ كَتَفْسِيرٍ مُخْتَصَرٍ .



بِنَاءُ كَمِّيَّةِ التَّحَرُّكِ

لَا تَسْتَطِيعُ سَيَّارَةُ الدَّوَرَانِ مَقْلُوبَةً دَاخِلَ حَلْقَةٍ إِلَّا إِذَا كَانَتْ كَمِّيَّةُ حَرَكَتِهَا (الكتلة × السرعة) كَبِيرَةً . فَإِذَا كَانَتْ كَمِّيَّةُ الْحَرَكَةِ صَغِيرَةً ، فَإِنَّ الْقُوَّةَ الْمُسَمَّاةَ بالطَّارِدَةِ الْمَرْكَزِيَّةِ سَتَكُونُ أَقَلَّ مِنْ قُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ فَتَسْقُطُ الْعَرَبَةُ . وَلَكِنْ إِذَا كَانَ مُنْحَدَرُ الْبِدَايَةِ شَدِيدَ الانْحِدَارِ (أقصى اليسار)، فَإِنَّ كَمِّيَّةَ حَرَكَةِ الْعَرَبَاتِ سَتَكُونُ كَبِيرَةً وَكَافِيَةً لِتُكْمِلَ الدَّوَرَانَ دَاخِلَ الْحَلْقَةِ حَتَّى تَخْرُجَ مِنْهَا .

ثَلَاثُ قُوًى يَتَأَثَّرُ الرَّاكِبُ بِقُوًى مُتَعَدِّدَةٍ عِنْدَ قِمَّةِ الْمَسَارِ الْحَلْقِيِّ . الْأُولَى هِيَ قُوَّةُ الْجَاذِبِيَّةِ الَّتِي تَجْذِبُهُ لِأَسْفَلَ . والثَّانِيَةُ هِيَ ضَغْطُ الْمَقْعَدِ الَّذِي يَدْفَعُ الرَّاكِبَ نَحْوَ مَرْكَزِ الدَّائِرَةِ . والثَّالِثَةُ هِيَ اِتِّحَادُ قُوَّتَيِ الْقُصُورِ الذَّاتِيِّ وَالْجَاذِبَةِ نَحْوَ الْمَرْكَزِ اللَّتَيْنِ تَظْهَرَانِ مَعًا كَأَنَّهُمَا تَدْفَعَانِ الرَّاكِبَ إِلَى أَعْلَى (الْقُوَّةُ الطَّارِدَةُ الْمَرْكَزِيَّةُ) .



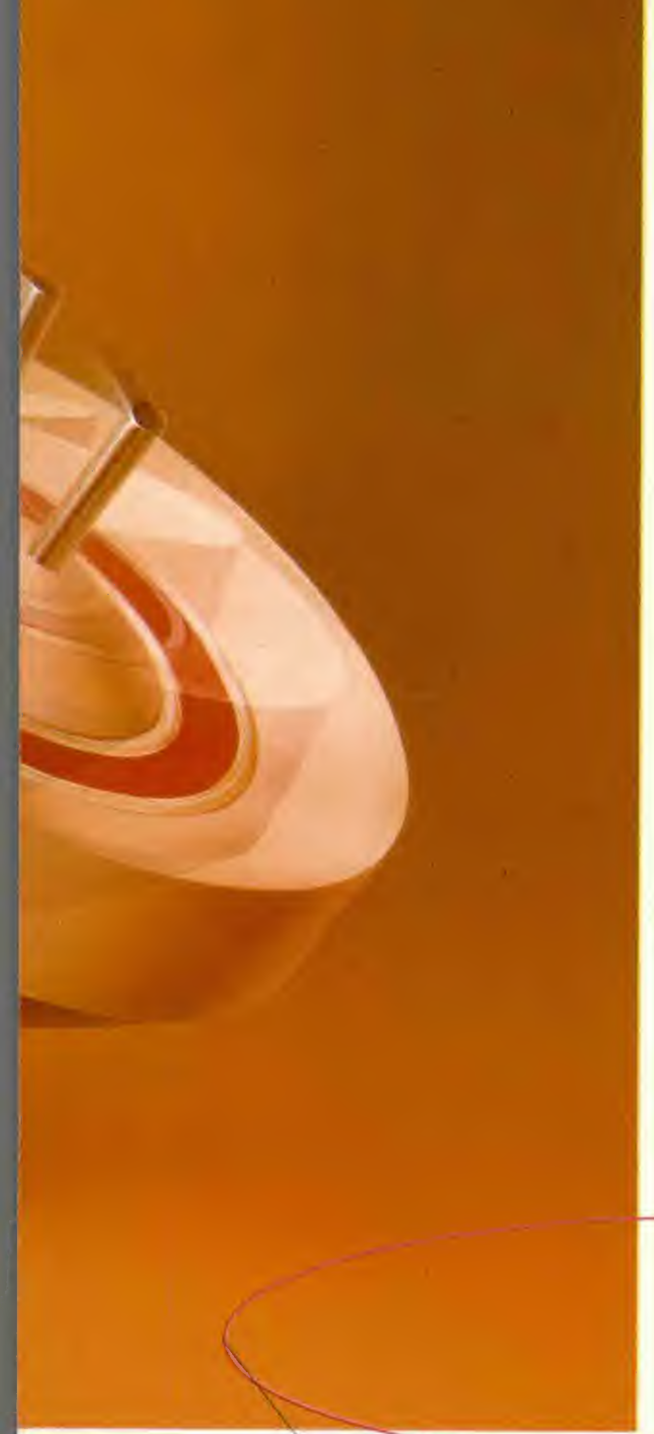
طَاقَةُ الْحَرَكَةِ وَطَاقَةُ الْوَضْعِ

عِنْدَمَا تَبْدَأُ الْعَرَبَاتُ مِنْ عَلَى قِمَّةِ الْمُنْحَدَرِ يَكُونُ لَهَا طَاقَةُ وَضْعٍ كَبِيرَةٌ (أزرق) وَطَاقَةُ حَرَكَةٍ صَغِيرَةٌ (أحمر) .

وَبِازْدِيَادِ سُرْعَتِهَا أَثْنَاءَ هُبُوطِهَا ، يَتَحَوَّلُ جُزْءٌ مِنْ طَاقَةِ وَضْعِ الْعَرَبَاتِ إِلَى طَاقَةِ حَرَكَةٍ .

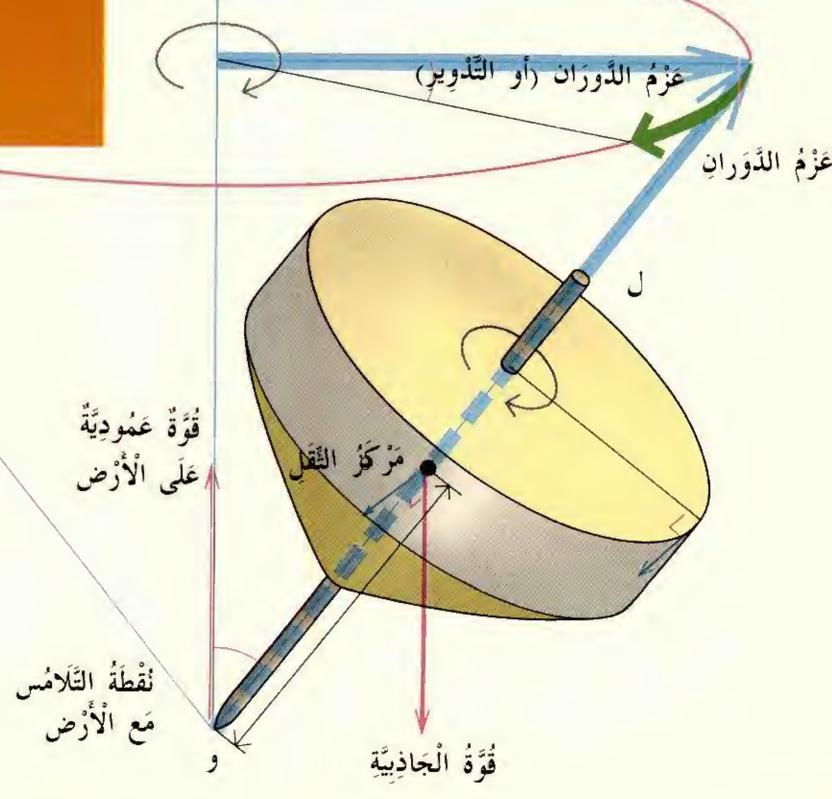
وَعِنْدَ قَاعِ الْمُنْحَدَرِ ، تَكُونُ مُعْظَمُ طَاقَةِ الْوَضْعِ تَقْرِيبًا (أزرق) قَدْ تَحَوَّلَتْ إِلَى طَاقَةِ حَرَكَةٍ (أحمر) .

كيف تجعل الدَّوَّارة (النحلة) قائمةً ؟



إذَا وَضَعْنَا الدَّوَّارةَ بِحَيْثُ يَرْتَكِزُ مِحْوَرُهَا عَلَى الْأَرْضِ ، فَإِنَّهَا لَا تَسْتَقِرُّ فِي هَذَا الْوَضْعِ . وَلَكِنَّهَا إذَا أُدِيرَتْ دَوَرَانًا مِغْزَلِيًّا فَإِنَّهَا قَدْ تَسْتَقِرُّ قَائِمَةً لِعِدَّةِ دَقَائِق . والْأَجْسَامُ ذَاتُ الْحَرَكَةِ الدَّوَرَانِيَّةِ تُؤَثِّرُ عَلَيْهَا قُوَّةُ دورَانٍ نَاتِجَةٌ عَنْ كَمِّيَّةِ التَّحَرُّكِ الزَّاوِى لِهذِهِ الْأَجْسَامِ (عَزْمُ الْقُصُورِ الذَّاتِى حَوْلَ مِحْورِ الدَّوَرانِ × السُّرْعَةِ الزاوِيَّةِ). وَهَذِهِ الْقُوَّةُ تُؤَثِّر بِعَزْمِ دَورَانٍ يَجْعَلُ مِحْوَرَ دَوَرَانِ الدَّوَّارَةِ (ول) يَدُورُ بَدَلًا مِنْ أَنْ يَقعَ على الْأَرْضِ ، وَتَنْتُجُ الْحَرَكَةُ التَمَايُلِيَّةُ الْمَعْرُوفَةُ للدَّوارَةِ ، وَيُعْرَفُ ذَلِكَ بِعَزْمِ الدَّوَرانِ أَو التَّدْوِير . ولِأَنَّ الاحْتِكَاكَ بَيْنَ الأَرْضِ والدَّوَّارَةِ يَجْعَلُهَا تَفْقِدُ بَعْض كمِّيَّةِ تَحَرُّكِهَا الزَّاوِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تُبْطِئُ ثُمَّ تَسْقُطُ عَلَى الْأَرْضِ .

وَلَا يَقْتَصِرُ اسْتِخْدَامُ الدَّوارَةِ عَلَى اللَّعِبِ بِهَا لِلتَّسْلِيَةِ ، وَلَكِنَّ خَوَاصَّهَا تَجْعَلُهَا مُفِيدَةً فِى اسْتِخْدَامَاتٍ كَثِيرَةٍ . وَأَهَمُّ هَذِهِ الْاسْتِخْدَامَاتِ فِى الْجِيرُوسْكُوب ، وَهَوَ لَا يَزِيدُ عَلَى دَوَّارَةٍ مَوْضُوعَةٍ عَلَى مُرْتَكَزٍ هَزَّازٍ . وَهُوَ حَسَّاسٌ جِدًّا لِأَىِّ تغيُّرٍ فِى الاتِّجَاه لِأَنَّهُ يُؤَثِّرُ عَلَى عَزْمِ الدَّوَرانِ . وَلِذَلِكَ فَهُوَ أَسَاسِيٌّ فِى أَنْظِمَةِ الْمِلاحَةِ الْجَوِّيَّةِ والْبَحرِيَّةِ ، كَمَا سَهَّلَ التَّحَكُّمَ عَنْ بُعْدٍ فِى إِرْشَادِ سُفُنِ الْفَضَاءِ .



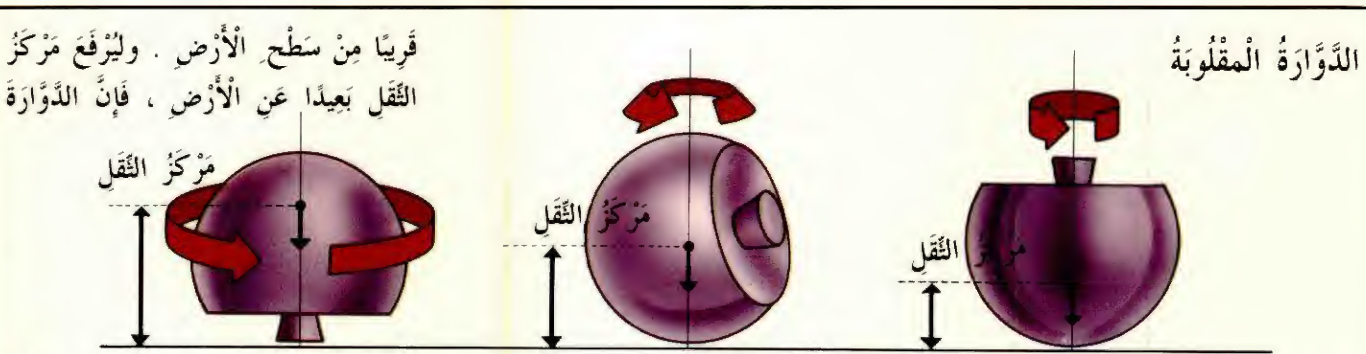
السَّبْق

لِاسْتِمْرَارِ تَأَثُّرِ الدَّوَّارَةِ بِقُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تَسْتَخْدِمُ سُرْعَتَهَا الزَّاوِيَّةَ وَقُوَّةَ الْجَاذِبِيَّةِ لِإِنْتَاجِ عَزْمٍ جَانِبِيٍّ . وَهَذَا الْعَزْمُ يُسَبِّبُ دَوَرَانَ مِحْورِ الدَّوَّارَةِ أَوْ تَقَدُّمَهَا فِى دَائِرَةٍ حَوْلَ الْمِحْوَرِ الرَّأْسِيِّ (وص) . وَالزَّاوِيَةُ التى تَصْنَعُهَا الدَّوَّارَةُ عِنْدَمَا يَرْسُمُ الْمِحْوَرُ الدَّائِرَةَ ، تَزْدَادُ كُلَّمَا فَقَدَت الدَّوَّارَةُ جُزْءًا مِنْ كَمِّيَّةِ تَحَرُّكِهَا الزَّاوِيَّة.

الدَّوَّارَةُ الْمقْلُوبَةُ

إذَا وُضِعَت الدَّوَّارَةُ الْمُبيَّنَةُ بالشَّكْلِ مَقْلُوبَةً ، ثم أُدِيرَتْ ، فَإِنَّهَا سَوْفَ تَنْقَلِبُ لِتَدُورَ عَلَى مَقْبَضِهَا (أعلى يسار). والسِّرُّ فِي ذَلِكَ يَكْمُنُ فِي مَرْكَزِ ثِقَلِهَا .

فَالدَّوَّرَاتُ تَكُونُ أَكْثَرَ اسْتِقْرَارًا عِنْدَمَا يَكُونُ مَرْكَزُ ثِقَلِهَا مُرْتَفِعًا عَنِ الْأَرْضِ . وَعِنْدَمَا نُدِيرُ مِثْلَ هَذَا النَّوْعِ مِنَ الدَّوَّارَاتِ (أعلى يمين) يَكُونُ مَرْكَزُ الثِّقَلِ قَرِيبًا مِنْ سَطْحِ الْأَرْضِ . ولِيُرْفَعَ مَرْكَزُ الثِّقَلِ بَعِيدًا عَنِ الْأَرْضِ ، فَإِنَّ الدَّوَّارَةَ



تَدُورُ عَلَى جَانِبِهَا (أوسط). ثُمَّ تُحَوِّلُ بَعْضَ طَاقَتِهَا الْحَرَكِيَّةِ إلى طَاقَةِ وَضْعٍ بِأَنْ تَقْلِبَ نَفْسَهَا تَمَامًا لِتَسْتَقِرَّ على مَقْبِضَهَا وَتَكُونَ أَكْثَرَ اسْتِقْرَارًا .

لماذا تأخذ كرة البيسبول مسارًا منحنيا ؟

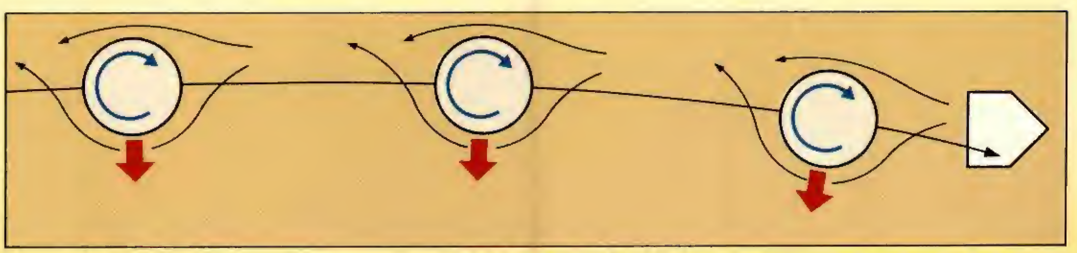
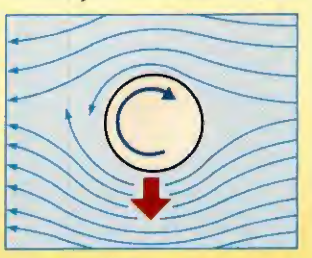
يَعْتَقِدُ بَعْضُ النَّاسِ أَنَّ كُرَاتِ الْبِيسبُول لَا تَتَّخِذُ مَسَارًا مُنْحَنِيًا فِي الْحَقِيقَةِ ، وَلَكِنَّهُ مُجَرَّدُ خِدَاعٍ بَصَرِيٍّ . وَلَكِنَّ لَاعِبِي الْبِيسبُول وَالْعُلَمَاءَ يَعْرِفُونَ أَكْثَرَ . وَقَاذِفُ الْكُرَةِ فِي الْفَرِيقِ يُمْكِنُهُ أَنْ يَجْعَلَ الْكُرَةَ تَتَّخِذُ مَسارًا مُنْحَنِيًا أَوْ قَافِزًا أَوْ تُبْطِئُ أَثْنَاءَ طَيَرانِهَا نَحْوَ الْهَدفِ . وَيَتَحَدَّدُ الْمَسارُ الْمُنْحَنِي لِلرَّمْيَةِ بِسُرْعَةِ وَاتِّجَاهِ الدَّوَرَانِ الْمُعْطَى لِلْكُرَةِ لَحْظَةَ تَرْكِهَا يَدَ الرَّامِي . وَتَنْطَبِقُ عَلَيْهَا الْقَوَانِينُ الْفِيزْيَائِيَّةُ الَّتِي تَنُصُّ عَلَى أَنَّ مَسارَ الْجِسْمِ الْمُتَحرِّكِ يَتَحَدَّدُ بِمَجْمُوعَةِ الْقُوَى الْمُؤَثِّرةِ عَلَيْهِ . وَتُخَاطُ كُرَةُ الْبِيسبُول بـ ٢١٦ غُرْزَةً مِنْ خَيْطٍ أَحْمَرَ . وَبِمُجَرَّدِ طَيَرانِ الْكُرَةِ ، فَإِنَّ هَذِهِ الْغُرَزَ تَحْمِلُ طَبَقَةً مِنَ الْهَوَاءِ مَعَهَا وَهِيَ تَدُورُ . وَيَتَحرَّكُ الْهَواءُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ قَلِيلًا عَلَى جَانِبِ الْكُرَةِ الَّذِي فِي اتِّجَاهِ الدَّوَرَانِ . وَكُلَّمَا زَادَتْ سُرْعَةُ الْهَواءِ ، قَلَّ الضَّغْطُ النَّاتِجُ عَنْه . وَهَكَذَا ، يَكُونُ ضَغْطُ الْهَواءِ أَقَلَّ عَلَى جَانِبِ الْكُرَةِ فِي اتِّجَاهِ الدَّوَرَانِ ، وَيَكُونُ أَكْبَر عَلَى الْجَانِبِ الآخرِ لِلْكُرَةِ . وَكَمَا أَنَّ أَنْظِمَةَ الطَّقْسِ تَنْتَقِلُ مِنْ مَنَاطِقِ الضَّغْطِ الْعَالِي إِلَى الْمُنْخَفِضِ ، فَإِنَّ الْكُرَةَ يَنْحَنِي اتِّجَاهُ دَوَرَانِها نَاحِيَةَ مِنْطَقَةِ الضَّغْطِ الْأَقَلِّ . وَمِثْلُ هَذِهِ الْكُرَةِ تَدُورُ حَوَالَيْ ١٨ مَرَّةً خِلَالَ نِصْفِ الثَّانِيَةِ الْأَوَّلِ لِطَيَرانِهَا إِلَى الْهَدَفِ وَقَدْ يَنْحَنِي مَسارُهَا بِحَوالَيْ ١٧½ بُوصَةً .

الدَّوَرَانُ وَتَأْثِيرُ مَاجْنَسْ

تُوَاجِهُ الْكُرَةُ مُقَاوَمَةَ الْهَـوَاءِ أَثْنَـاءَ حَرَكَتِهَا . وَتكُونُ الْمُقَاوَمَةُ أَقَلَّ عَلَى جَانِبِ الْكُرَةِ الَّذِي فِي اتِّجَاهِ دَوَرَانِهَا (السهم الأحمر) . وَعَدَمُ التَّوَازُنِ هَذَا ، يُسَبِّبُ تَوَلُّدَ قُوَّةٍ عَمُودِيَّةٍ على اتِّجَاهِ حَرَكَةِ الْكُرَةِ . وَطِبْقًا لِتَأْثِيرِ مَاجْنَسْ ، تَكُونُ الْقُوَّةُ مَعَ مُعَدَّلِ الدَّوَرانِ حَوْلَ الْمِحْوَرِ والسُّرْعَةِ ، وَالْمُقَاوَمَةِ .



الْكُرَةُ مُنْحَنِيَةُ الْمسَارِ

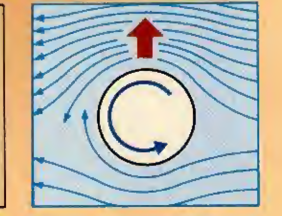



يَقْذِفُ الرَّامِى كُرَةً مُنْحَنِيَةَ الْمَسَارِ ، بِلَىِّ رُسْغِهِ بَعِيدًا عن جِسْمِهِ لِتَجْعَلَ الْكُرَةَ تدُورُ حَوْلَ مِحْورِهَا . وَالرَّامِى الْأَيْمَنُ الْيَدِ يُدِيرُ الْكُرَةَ إِلَى أَسْفَلَ وَضِدَّ اتِّجاهِ حَرَكَةِ عَقْرَبَىْ السَّاعَةِ (كَمَا تَظْهَرُ مِنْ أَعْلَى) وَهذا يَجْعَلُ الْكُرَةَ تَهْبِطُ فِى حَرَكَةٍ أو انْحِرَافٍ نَاحِيَةَ الْجَانِبِ الْأَيْمَنِ مِن الْهَدَفِ . وَلِأَنَّ تَيَّارَ الْهَواءِ يَكُونُ أَسْرَعَ عَلَى جَانِبِ الْكُرَةِ فِى اتِّجَاهِ الدَّورَانِ ، فَإِنَّ الْكُرَةَ تَنْحَرِفُ فِى اتِّجاهِ الدَّورَانِ .

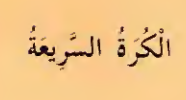
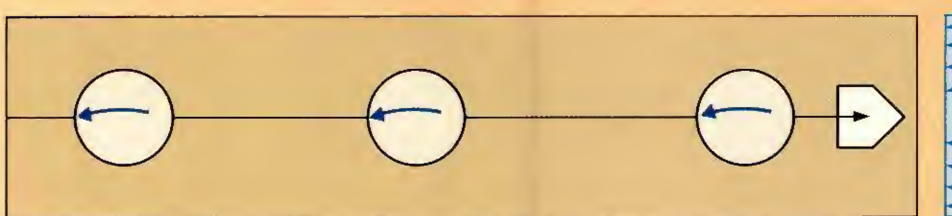


تُقْذَفُ الْكُرَةُ اللَّوْلَبِيَّةُ ، بِلَوْلَبَةِ الرُّسْغِ جِهَةَ جِسْمِ الرَّامِى ، عَكْسَ الْكُرَةِ الْمُنْحَنِيةِ . وَبِذَلِكَ تدُور الْكُرَةُ فِى اتِّجَاهٍ مُضادٍّ لِدَوَرانِ الْكُرَةِ الْمُنْحَنِيةِ ، وَتَصْطَدِمُ بِالْجَانِبِ الْأَيْسَرِ مِنْ لَوْحَةِ الْهَدَفِ . وَالْكُرَةُ اللَّوْلَبِيَّةُ لِرامٍ أَيْمَنَ تَنْحَرِفُ تُجاهَ ضَارِبٍ أَيْمَن .

الْكُرَةُ اللَّوْلَبِيَّةُ




الْكُرَةُ السَّرِيعَةُ

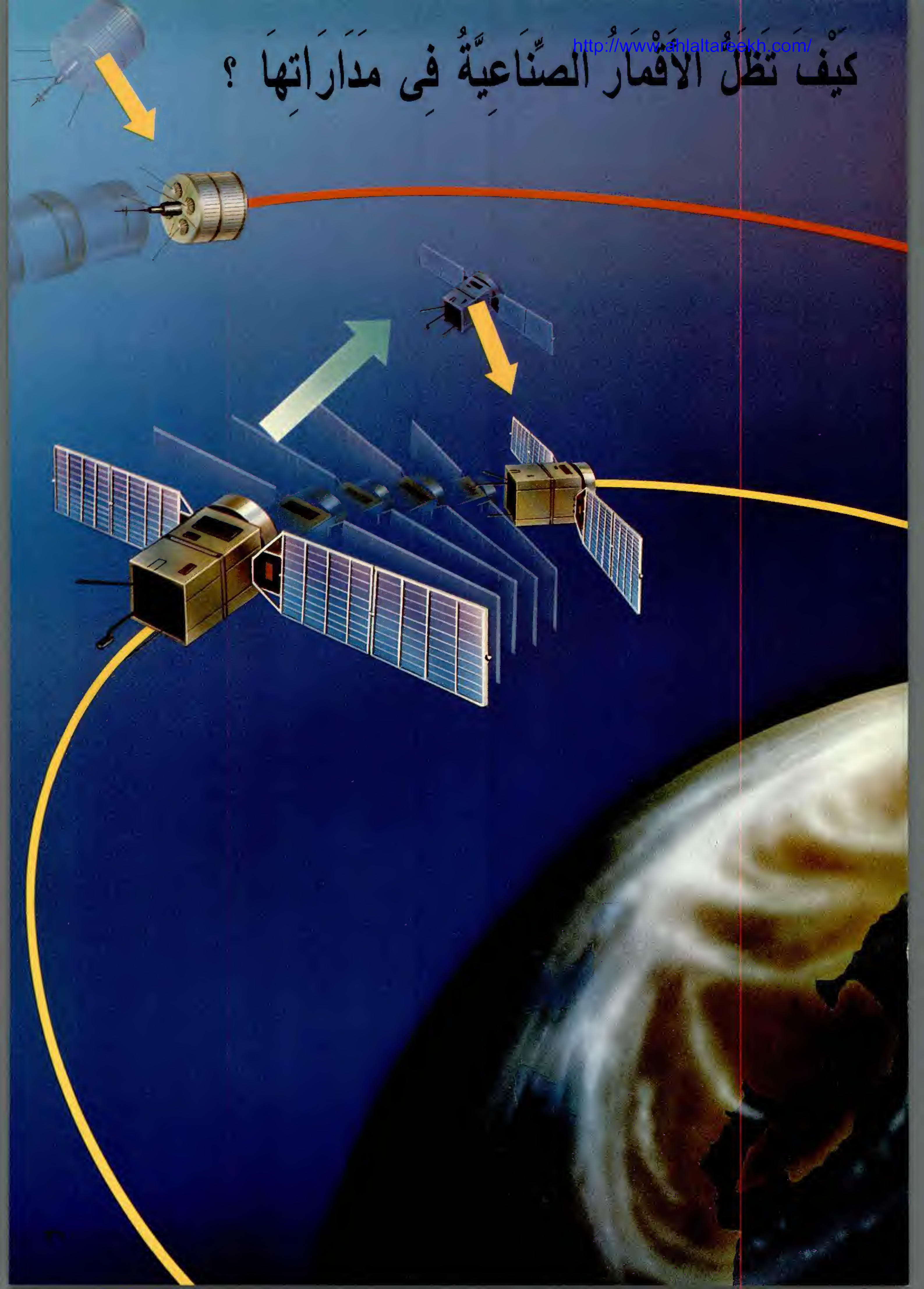
الْكُرَةُ السَّرِيعَةُ الْجَيِّدَةُ لَيْسَتْ مُجَرَّدَ رَمْيَةٍ مُبَاشِرَةٍ، بَلْ إنَّ لَها أَيْضًا حَرَكَتَهَا الْخَاصَّةَ . فَعِنْدَ لَحْظَةِ تَحْرِيرِ الْكُرَةِ ، يَجْذِبُ الرَّامِى إِلَى أَسْفَلَ عَلَى خطِّ الْخِيَاطَةِ، فَتَدُورُ الْكُرَةُ إِلَى الْخلْفِ تُجاهَ الرَّامِى . وَهَذَا يُحْدِثُ تَأْثِيرَ مَاجْنَس مُوَجَّهًا لِأَعْلَى ، فَتثِبُ الْكُرَةُ فِى الْهَواءِ . وَكُرَةٌ سَرِيعَةٌ سُرْعَتُهَا ٩٠ مِيل/ ساعة ، قَدْ تَثِبُ حَتَّى ٤ بُوصَاتٍ .

تَحْدِيدُ دَورَانِ الْكُرَةِ

تَخْتَلِفُ الْكُرَةُ الْمُنْحَنِيَةُ وَاللَّوْلَبِيَّةُ والسَّرِيعَةُ عَنْ بَعْضِهَا فِى سُرْعَةِ وَاتِّجَاهِ دَوَرانِ الْكُرَةِ . وَتَأْثِيرُ مَاجْنَسْ يَجْعَلُ الْكُرَةَ تَنْحَرِفُ فِى اتِّجَاهِ دَوَرانِهَا . وَآلَةُ قَذْفِ الْكُرَاتِ تُوَلِّدُ دَورانًا مُخْتَلِفًا ، بِتَغْيِيرِ سُرْعَاتِ عَجَلَتَى الْقَذْفِ . والرَّامِى يُغَيِّرُ هَذِهِ السُّرْعَاتِ بِتَغْيِيرِ طَرِيقَةِ إِمْسَاكِهِ الْكُرَةَ .

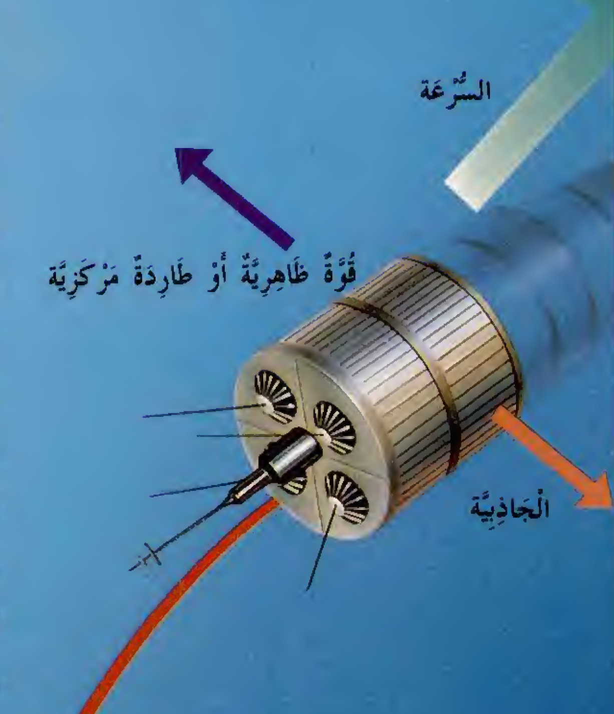


كَيْفَ تَظَلُّ الأَقْمَارُ الصِّنَاعِيَّةُ فِى مَدَارَاتِهَا ؟



مَدَارُ الْقَمرِ الصِّنَاعِيِّ يُمثِّلُ اتِّزَانًا دَقِيقًا بَيْنَ الْقُصُورِ الذَّاتِيِّ وَالْجَاذِبِيَّةِ . فَقُوَّةُ الْجَاذِبِيَّةِ تَجْذِبُ الْقَمَرَ الصِّنَاعِيَّ باسْتِمْرَارٍ نَحْوَ الْأَرْضِ ، بَيْنَمَا الْقُصُورُ الذَّاتِيُّ يَحْفظُ الْقَمَرَ الصِّنَاعِيَّ مُتَحَرِّكًا فِي خطٍّ مُسْتَقِيمٍ . وَلَوْلَا الْجَاذِبِيَّةُ ، لَتسبَّبَ الْقُصُورُ الذَّاتِيُّ لِلْقَمَرِ الصِّنَاعِيِّ فِي تَحْرِيكِهِ خَارِجَ الْمَدَارِ الْأَرْضِيِّ مُنْطَلِقًا فِي الْفَضَاءِ . وَلَكِنْ عِنْدَ كُلِّ نُقْطَةٍ فِي الْمَدَارِ ، تَكْبَحُ الْجَاذِبِيَّةُ الْقَمَرَ الصِّنَاعِيَّ .

وَلِيَحْدُثَ الاتِّزَانُ بَيْنَ الْقُصُورِ الذَّاتِيِّ وَالْجَاذِبِيَّةِ ، يَجِبُ أَنْ يَتَحَرَّكَ الْقَمَرُ الصِّنَاعِيُّ بِسُرْعَةٍ مُنَاسِبَةٍ . لِأَنَّهُ لَوْ تَحَرَّكَ بِسُرْعَةٍ كَبِيرَةٍ ، لَتغلَّبَ الْقُصُورُ الذَّاتِيُّ عَلَى الْجَاذِبِيَّةِ ، وَخَرَجَ الْقَمَرُ مِنَ الْمَدَارِ . وَحِسابُ سُرْعَةِ الْقمرِ الصِّنَاعِيِّ الَّتِي تَدْفَعُهُ خَارِجَ مَدَارِ الْأَرْضِ — وَهِيَ سُرْعَةُ الْهُروبِ — يَلْعَبُ دَوْرًا هَامًّا عِنْدَ إِطْلَاقِ سُفُنِ الْفضَاءِ . وَإِذَا كَانَتْ سُرْعَتُهُ أَبْطَأَ مِنَ اللَّازِمِ ، تَكْسِبُ الْجَاذِبِيَّةُ الْمَعْرَكَةَ ، وَيَنْدَفِعُ الْقَمَرُ الصِّنَاعِيُّ نَحْوَ الْأَرْضِ . وَهَذَا هُوَ مَاحَدَثَ عَامَ ١٩٧٩ حِينَ بَدَأَتْ مَحَطَّةُ الْفَضَاءِ الْأَمْرِيكِيَّةُ سكَاي لَابْ تُبْطِئُ سُرْعَتَهَا نَتِيجَةَ مُقَاوَمَةِ الطَّبَقَاتِ الْخَارِجِيَّةِ لِلْغِلَافِ الْهَوَائِيِّ لِلْأَرْضِ . فَانْدَفَعَتْ سَفِينَةُ الْفَضَاءِ نَحْوَ الْأَرْضِ . وَتَحطَّمَتْ عَلَى سَطْحِهَا .



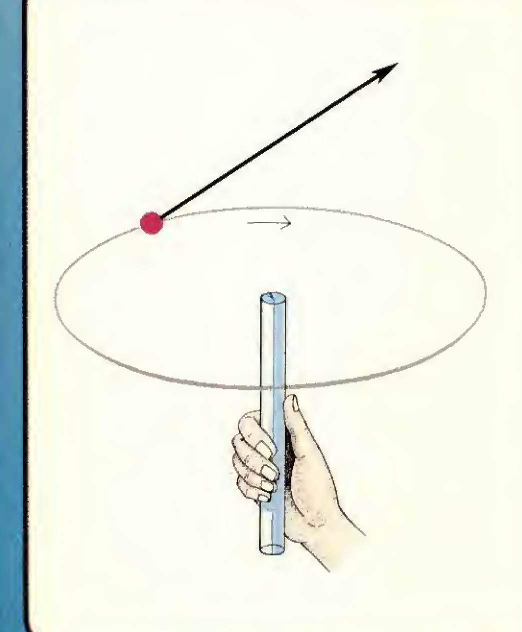
السُّرْعَةُ وَالْمَسَافَةُ



تَقِلُّ قُوَّةُ الْجَاذِبِيَّةِ بَازْدِيَادِ الْمَسَافَةِ ، وَلِذَلِكَ تَتَغَيَّرُ السُّرْعَةُ اللَّازِمَةُ لِحِفْظِ قَمَرٍ صِنَاعِيٍّ فِي مَدَارِهِ . وَيَسْتَطِيعُ الْمُهَنْدِسُون حِسَابَ ارْتِفَاعِ الْمَدَارِ وسُرْعَةَ الْقَمَرِ الصِّنَاعِيِّ فِيهِ . فَمَثَلًا أَيُّ قَمَرٍ صِنَاعِيٍّ أَرْضِيٍّ ثَابِتٍ — وَهُوَ الَّذِي يَظَلُّ فَوْقَ نَفْسِ بُقْعَةِ الْأَرْضِ دَائِمًا — يَجِبُ أَن يَدُورَ دَوْرَةً وَاحِدَةً كُل ٢٤ ساعة مُتَزَامِنًا مَعَ دَوَرَانِ الْأَرْضِ ، وَعَلَى ارتِفَاعِ ٢٢٣٠٠ مِيلًا .

الْجَاذِبِيَّةُ وَالْقُصُورُ الذَّاتِيُّ

يُمْكِنُ تَمْثِيلُ التَّوازُنِ الَّذِي يُحْدِثُهُ الْقَمَرُ الصِّنَاعِيُّ مَعَ الْجَاذِبِيَّةِ وَالْقُصُورِ الذَّاتِيِّ بِإِدَارَةِ ثِقْلٍ فِي نِهَايَةِ حَبْلٍ . فَالْقُصُورُ الذَّاتِيُّ يَجْذِبُ الثِّقْلَ دَائِمًا إِلَى الْخَارِجِ ، بَيْنَمَا الشَّدُّ فِي الْحَبْلِ — وَهُوَ يُمَثِّلُ الْجَاذِبِيَّةَ — يَحْفَظُ الثِّقْلَ فِى مَدَارِه الدَّائِرِيِّ . فَإِذَا قُطِعَ الْحَبْلُ (الشكل) يَطِيرُ الثِّقْلُ فِي الْهَواءِ فِي مَسَارٍ مُسْتَقِيمٍ عَمُودِيٍّ عَلَى نِصْفِ الْقُطْرِ لَحْظَةَ الْقَطْعِ .



كيْفَ يمتَطِى راكِبو الأَمْواجِ لوْحَ الرُّكُوبِ ؟

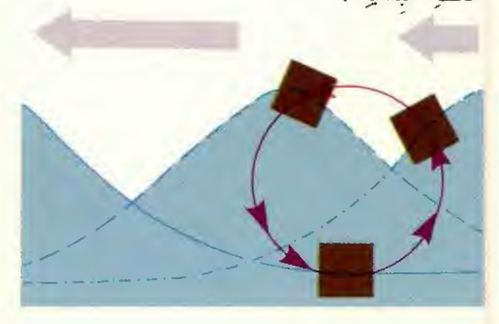
السُّهُولَةُ الظَّاهِرِيَّةُ الَّتِى يُمَارِسُ بِهَا رَاكِبُو الْأَمْوَاجِ سِبَاقَاتِهِمْ ، تُعْطِى فِكْرَةً خَاطِئَةً عَنِ الْقُوَى الْمُعَقَّدَةِ الَّتِى تَحْكُمُ رُكُوبَ الْأَمْوَاجِ . وَتَخْتَلِفُ الْأَمْوَاجُ اخْتِلَافًا كَبِيرًا فِى أَشْكَالِهَا بَيْنَ مَصْدَرِ تَكَوُّنِهَا وَالشَّاطِئِ ، وَلَا تَرْتَفِعُ الْأَمْوَاجُ ارْتِفَاعًا مُنَاسِبًا إِلَّا قُرْبَ الشَّاطِئِ حَيْثُ يُمْكِنُ لِرَاكِبِى الْأَمْوَاجِ رُكُوبِهَا .

وَيَبْدَأُ تَكَوُّنُ الْأَمْوَاجِ بَعِيدًا عَنْ أَىِّ شَاطِئٍ فِى وَسْطِ الْمُحِيطِ ، نَتِيجَةَ تَيَّارَاتِ الْمُحِيطِ وَالرِّيَاحِ وَجَذْبِ الْمَدِّ الْقَمَرِىِّ . وَعِنْدَ تَحَرُّكِهَا نَحْوَ الشَّاطِئِ ، تَقِلُّ سُرْعَتُهَا ، وَتُصْبِحُ أَطْوَلَ وَأَضْيَقَ (أسفل يسار) . وَيَسْتَفِيدُ رَاكِبُو الْأَمْوَاجِ مِنْ هَذِهِ الْحَرَكَةِ ، بِإِمْسَاكِ مَوْجَةٍ بَادِئَةٍ فِى التَّكَسُّرِ . فَيَقِفُونَ عَلَى مُؤَخِّرَةِ مُنْتَصَفِ أَلْوَاحِهِم لِتَتَزِنَ أَوْزَانُهُمْ ، وَيُوَجِّهُونَ مُقَدِّمَةَ الْأَلْوَاحِ بَعِيدًا عَنِ الْمَاءِ ، ثُمَّ يُنَاوِرُونَ بِجَوَانِبِ أَلْوَاحِهِم عَبْرَ الْمَوْجَةِ . وَيَنْدَفِعُ لَوْحُ الرُّكُوبِ إِلَى الْأَمَامِ بِمُحَصِّلَةِ قُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ وَحَرَكَةِ الْمَوْجَةِ إِلَى الْأَمَامِ . وَالنَّتِيجَةُ ، انْزِلَاقُ اللَّوْحِ أَسْفَلَ الْمَوْجَةِ عِنْدَ تَحَرُّكِهَا نَحْوَ الشَّاطِئِ .



أَمْوَاجُ عُرْضِ الْمُحِيطِ

الْأَمْوَاجُ الْبَعِيدَةُ عَنِ الشَّاطِئِ ، تَكُونُ ضَحْلَةً جِدًّا وَفَائِقَةَ السُّرْعَةِ وَيَصْعُبُ رُكُوبُهَا . وَعِنْدَمَا تَتَقَدَّمُ مَوْجَةٌ ، فَإِنَّ جِسْمًا مِثْلَ لَوْحِ الْخَشَبِ هَذَا (أسفل) يَرْتَفِعُ وَيَتَقَدَّمُ قَلِيلًا إِلَى الْأَمَامِ . ولَكِنْ عِنْدَمَا تَمُرُّ الْمَوْجَةُ ، يَعُودُ اللَّوْحُ إِلَى الْخَلْفِ إِلَى نُقْطَةِ الْبِدَايَةِ .



الْإِمْسَاكُ بِالْمَوْجَة

عِنْدَمَا يَبْدَأُ رَاكِبُ الْأَمْوَاجِ رُكُوبَهُ ، تَكُونُ الْمَوْجَةُ ضَحْلَةً وَمُتَحَرِّكَةً بِسُرْعَةٍ نَحْوَ الشَّاطِئِ . وَلَكِنْ عِنْدَمَا تَقْتَرِبُ الْمَوْجَةُ مِنَ الشَّاطِئِ ، تُبْطِئُ وَتُصْبِحُ أَكْثَرَ انْحِدَارًا ، مُتَحَدِّيَةً الرَّاكِبَ فِي حِفظِ تَوَازُنِهِ عِنْدَمَا تَبْلُغُ أَقْصَى ارْتِفَاعِهَا .



رَاكِبُ أَمْوَاجٍ يَنْزَلِقُ إِلَى أَسْفَلِ مَوْجَةٍ مُتَكَسِّرَةٍ

تَارِيخُ مَوْجَةٍ

مَوْجَةٌ فِي عُرْضِ الْبَحْرِ

الْمَوْجَاتُ التى تَنْشَأُ فِي عُرْضِ الْبَحْرِ ، تَكُونُ عَرِيضَةً وَمُتَنَاسِقَةً ، وَتَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ .

مَوْجَةٌ بِالْقُرْبِ مِنَ الشَّاطِئِ

عِنْدَمَا تَقْتَرِبُ الْمَوْجَةُ مِنَ الشَّاطِئِ الْأَقَلِّ عُمْقًا ، تُبْطِئُ ، وتَنْتَأُ مِنْ أَعْلَى مُنْقَلِبَةً عَلَى نَفْسِهَا .

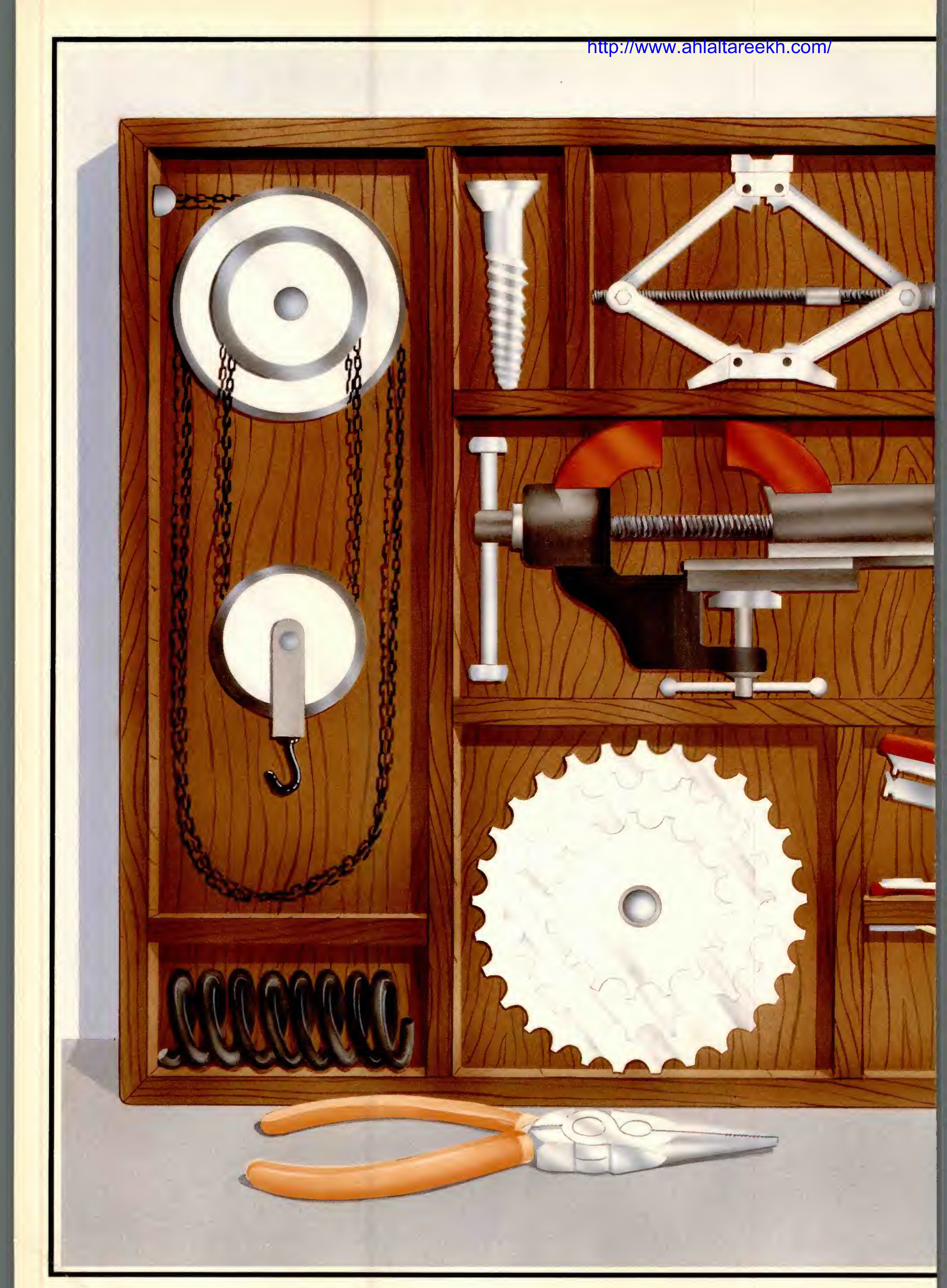
3 الآلاتُ البَسِيطَةُ



مُعْظَمُ الآلاتِ الْحَدِيثَةِ ، مَهْمَا بَلَغَتْ دَرَجَةُ تَعْقِيدِهَا ، تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجْمُوعَةٍ قَلِيلَةٍ مِن أَجْزَاءَ مُتَحَرِّكَةٍ أَساسِيَّةٍ . وَهَذِهِ الْأَجْزَاءُ تُسَمَّى الآلاتِ الْبَسِيطَةَ مِثْلَ الرَّافِعَةِ والْمُسْتَوى الْمَائِلِ وَالْعَجَلَةِ . وَقَدْ خَدَمَت الْعُنْصُرَ الْبَشَرِيَّ خِدْمَاتٍ جَلِيلَةً مُنْذُ فَجْرِ الْحَضَارَةِ . وَباسْتِثناءِ الْأَجْهِزَةِ الْأَلِكْتُرونِيَّة ، فَإِنَّ رَوائِعَ الْأَجْهِزَةِ الْمِيكانِيكِيَّةِ الْمُعَقَّدَةِ الْيَوْمَ تَنْحَدِرُ مِنْ سُلالَةِ الْأَدَوَاتِ الَّتِى اسْتُخْدِمَتْ مُنْذُ آلافِ السِّنِينَ لِقَطْعِ الْأَشْجَارِ وَبِنَاءِ الْمَسَاكِنِ وَإِقَامَةِ الْأَهْرَامَاتِ الْعَظِيمَةِ .

وَقَدْ صَنَّفَ الْفِيزْيائِيُّونَ الآلَاتِ الْبَسِيطَةَ إِلَى خَمْسَةِ أَنْواعٍ : الرَّافِعَةِ ، وَالْعَجَلَةِ وَالْمِحْوَرِ ، وَالْبَكَرةِ ، وَالْمُسْتَوى الْمَائِلِ ، وَالْبَرِّيمَةِ . وَكُلٌّ مِنها يَعْمَلُ بِإِحْدَى ثَلاثِ طُرُقٍ . فَقَدْ تَأْخُذُ الْقُوَّةَ الْمُؤَثِّرَةَ عَلَيْهَا مِنْ أَحَدِ الْأَشْخَاصِ ، وَتُعِيدُ تَوْجِيهَهَا ، مِثْلَ جَعْلِ أَحَدِ الْأَشْخاصِ يَجْذِبُ شَيْئًا بَدَلًا مِنْ أَنْ يَدْفَعَهُ . أَوْ يُمْكِنُهَا تَحويلُ مَجْهُودٍ أَوْ قُوَّةٍ أَكْبَرَ ، وَهُوَ مَفْهُومٌ يُعْرَفُ بِالْفَائِدَةِ الْمِيكَانِيكِيَّةِ . أَوْ يُمْكِنُهَا تَكْبِيرُ الْمَسَافَةِ الَّتِى تُؤَثِّرُ عَلَيْهَا الْقُوَّةُ . وَمَعَ أَنَّ هَذِهِ الْآلاتِ لَا تُقَلِّلُ مِقْدَارَ الشُّغْلِ الْمَطْلُوبِ لِأَدَاءِ عَمَلٍ ، فَإِنَّهَا تُقَلِّلُ الْمَجْهُودَ الَّذِى يَبْذُلُهُ مُسْتَخْدِمُهَا . وَيُمْكِنُ أَدَاءُ مُعْظَمِ الْأَعْمَالِ الصَّعْبَةِ بِطَرِيقَةٍ أَسْهَلَ ، باسْتِخْدامِ الْآلَةِ الْبَسِيطَةِ الْمُناسِبَةِ وَحْدَهَا أَوْ مَعَ آلاتٍ أُخْرَى .

مِنْ أَوْنَاشِ الْبِنَاءِ إِلَى فَتَّاحَاتِ الْعُلَبِ إِلَى مُعْظَمِ الْأَدَوَاتِ الَّتِى تَرَاهَا هُنَا ، فَإِنَّ الْأَجْهِزَةَ الْمِيكَانِيكِيَّةَ تَعْتَمِدُ فَقَطْ عَلَى نَظَرِيَّاتٍ بَسِيطَةٍ قَلِيلَةٍ .



ما هِىَ الرَّوَافِعُ ؟

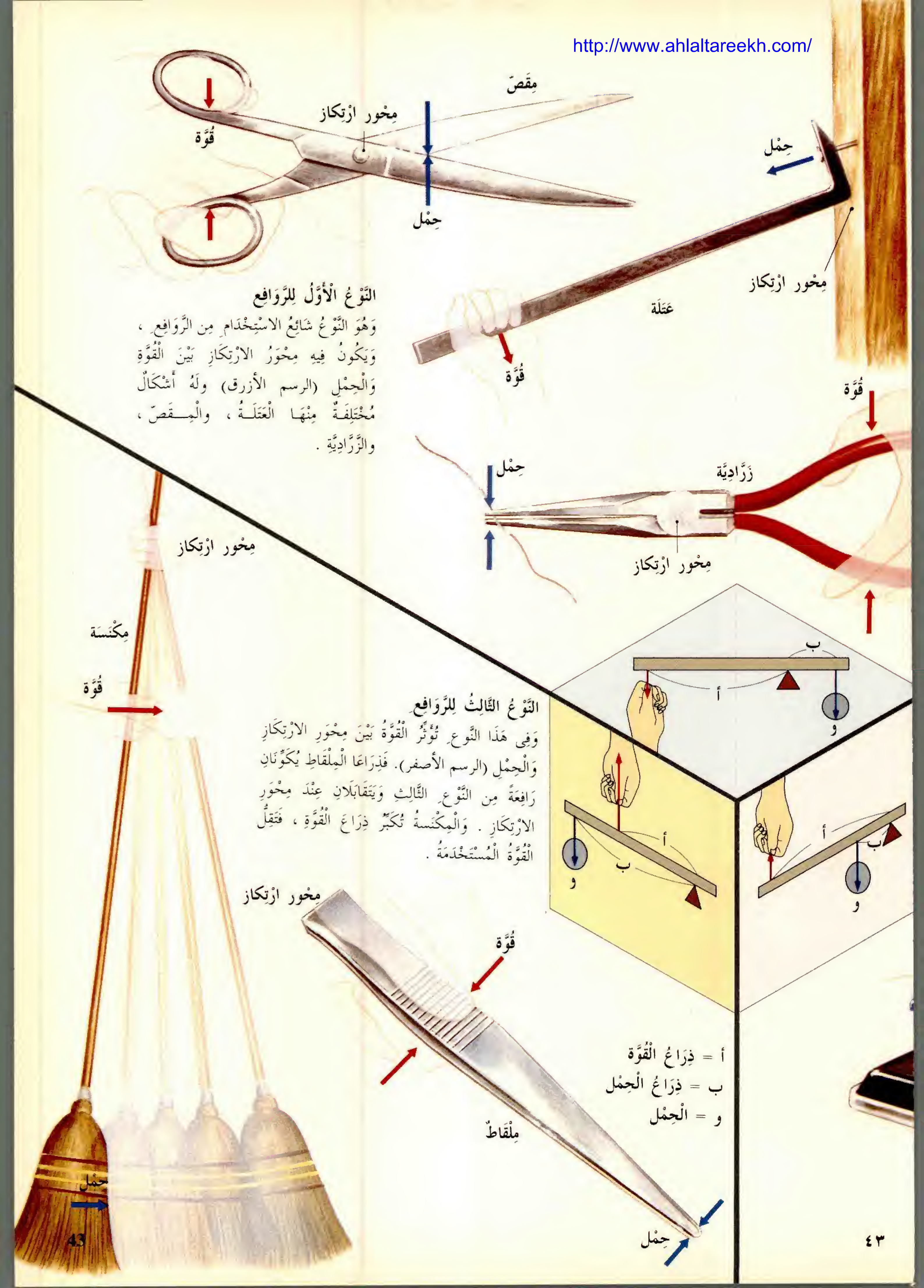
الرَّافِعَةُ هِىَ عَمُودٌ مَتِينٌ ضَيِّقٌ يَدُورُ حَوْلَ نُقْطَةٍ تُسَمَّى مِحْوَر الْارْتِكَازِ . وَبِوَضْعِ جِسْمٍ يُرَادُ تَحْرِيكُهُ وَيُسَمَّى الْحِمْلُ أَوْ الثِّقْلُ ــ عِنْدَ إِحْدَى نُقَطِ الْعَمُودِ ، ثُمَّ التَّأْثِيرُ بِقُوَّةٍ عِنْدَ نُقْطَةٍ أُخْرَى مِن الْعَمُودِ ، فَإِنَّ الشَّخْصَ يُمْكِنُه رَفْعُ أَوْ تَحْرِيكُ الْجِسْمِ بِسُهُولَةٍ أَكْثَرَ مِمَّا لَوْ اسْتَخْدَمَ يَدَهُ .

وَتَعْمَلُ الرَّوَافِعُ بِنَظَرِيَّةٍ بَسِيطَةٍ : الْقُوَّةُ × بُعْدِهَا عَنْ مِحْورَ الْارْتِكَازِ = الثِّقْل × بُعْدِهِ عَنْ مِحْوَرِ الارْتِكَازِ . وَكُلَّمَا زَادَ طُولُ ذِرَاعِ الْقُوَّةِ ، كُلَّمَا زَادَ تَكْبِيرُ الْقُوَّةِ ، وَزَادَتْ سُهُولَةُ تَحْرِيكِ الثِّقْلِ . وَكُلَّمَا قَلَّتْ أَيْضًا الْمَسَافَةُ الَّتِى يَتَحَرَّكُهَا الثِّقْلُ ، وَهِىَ مَيزَةٌ كَبِيرَةٌ لِلرَّافِعَةِ .

وفِى الْأَشْكَالِ الْمُبَيَّنَةِ ، الْأَنْوَاعُ الثَّلاثُ لِلرَّوَافِعِ الَّتِى تَخْتَلِفُ عَنْ بَعْضِهَا الْبَعْضَ فِى مَوْضِعِ مِحْوَرِ الْارْتِكَازِ بِالنِّسْبَةِ لِلْقُوَّةِ وَالثِّقْلِ (الحمل) .

النَّوْعُ الثَّانِى لِلرَّوَافِعِ

فِى النَّوعِ الثَّانِى لِلرَّوافِعِ يَكُونُ مِحْورُ الْارْتِكَازِ عِنْدَ أَحَدِ الطَّرَفَيْنِ ، وَالْقُوَّةُ تُؤَثِّرُ عِنْدَ الطَّرَفِ الْآخرِ ، أَمَّا الْحِمْلُ فَيُوضَعُ بَيْنَهُما (كما يَظْهَرُ فِى الرسم الْأُرْجُوانِىِّ الْمُقَابِل). وَعَرَبَةُ الْحَدِيقَةِ وَفَتَّاحَةُ الزُّجَاجَاتِ والدبَّاسَةُ وَثَاقِبَةُ الْوَرَقِ كُلُّهَا رَوَافِعُ مِن النَّوْعِ الثَّانِى ، وَيَتِمُّ فِيهَا تَكْبِيرُ الْقُوَّةِ .



النَّوْعُ الْأَوَّلُ لِلرَّوَافِع

وَهُوَ النَّوْعُ شائِعُ الاسْتِخْدامِ مِن الرَّوَافِعِ ، وَيَكُونُ فِيهِ مِحْوَرُ الارْتِكَازِ بَيْنَ الْقُوَّةِ وَالْحِمْلِ (الرسم الأزرق) ولَهُ أَشْكَالٌ مُخْتَلِفَةٌ مِنْهَا الْعَتَلَةُ ، والْمِقَصّ ، والزَّرَّادِيَّة .

النَّوْعُ الثَّالِثُ لِلرَّوَافِعِ

وَفِي هَذَا النَّوعِ تُؤَثِّرُ الْقُوَّةُ بَيْنَ مِحْوَرِ الارْتِكَازِ وَالْحِمْلِ (الرسم الأصفر). فَذِرَاعَا الْمِلْقَاطِ يُكَوِّنَانِ رَافِعَةً مِن النَّوْعِ الثَّالِثِ وَيَتَقَابَلانِ عِنْدَ مِحْوَرِ الارْتِكَازِ . وَالْمِكْنَسةُ تُكَبِّرُ ذِرَاعَ الْقُوَّةِ ، فَتَقِلُّ الْقُوَّةُ الْمُسْتَخْدَمَةُ .

كيف تعمل المستويات الْمائِلَةُ ؟

وَلِلْمستَويَاتِ الْمَائِلَةِ أَشْكَالٌ عَدِيدَةٌ . فَالْقَلاوُوظُ ــ مَثَلًا ــ يَتكَوَّنُ مِنْ مُسْتَوًى مَائِلٍ ، هُوَ أَسِنَّةُ الْقَلاوُوظِ الْمَلْفوفَةِ حَوْلَ أُسْطُوَانَةٍ . وَعِنْدَ إِدَارَةِ الْقَلاووُظِ ، تَتَعَمَّقُ الْأَسِنَّةُ فِي الْجِسْمِ ، وَتُمْسِكُ بِهِ بِشِدَّةٍ بِسَبَبِ الاحْتِكَاكِ الْكَبِيرِ الْمُتَولِّدِ بَيْنَهَا وَبَيْنَ الْجِسْمِ . وَالْمِنْجَلةُ تُحَوِّلُ فِعْلَ الرَّافِعَةِ وَدورانَ الْقَلاوُوظِ إِلَى ضَغْطٍ فِي خطٍّ مُسْتَقِيمٍ ، مِثْلِ الرَّافِعَةِ اللَّوْلَبِيَّةِ التى تَرْفَعُ الْأَجْسَامَ بِنَفْسِ النَّظَرِيَّةِ .

الْمُسْتَوِيَاتُ الْمَائِلَةُ تُشْبِهُ الرَّوَافِعَ فِي أَنَّهَا تُقَلِّلُ الْجُهْدَ اللَّازِمَ لِرَفْعِ جِسْمٍ مَا . فَمَثَلًا يَصْعُبُ رَفْعُ كُتْلَةٍ وَزْنُهَا ١٠٠ رِطْلٍ ، وَلَكِنْ يَسْهُلُ رَفْعُهَا بِسَحْبِهَا إِلَى أَعْلَى مُنْحَدَرٍ . فَوَضْعُ الْكُتْلَةِ عَلَى سَطْحٍ مَائِلٍ يُوَزِّعُ ثِقْلَهَا إِلَى مُرَكِّبَتَيْنِ : إِحْدَاهُمَا مُوَازِيَةٌ لِلسَّطْحِ ، والْأُخْرَى عَمُودِيَّةٌ عَلَيْهِ . ولِسَحْبِ الْجِسْمِ عَلَى الْمُسْتَوَى الْمَائِلِ ، فَإِنَّهُ عَلَى الشَّخْصِ أَنْ يَتَغَلَّبَ فَقَط عَلَى الْمُرَكَّبَةِ الْمُوازِيَةِ لِلسَّطْحِ الَّتِى يَزِيدُ مِقْدَارُهَا بِزِيَادَةِ مَيْلِ السَّطْحِ .

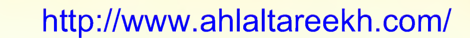
الْقُوَى عَلَى مُسْتَوًى مَائِلٍ

أَىُّ جِسْمٍ عَلَى مُسْتَوًى مَائِلٍ ، يُحَلَّلُ وَزْنُهُ إِلَى مُرَكَّبَتَيْنِ مُوازِيَةٍ وَعَمُودِيَّةٍ عَلَى الْمُسْتَوَى . وَسَحْبُ الْجِسْمِ عَلَى الْمُسْتَوَى لِأَعْلَى يَتطَلَّبُ قُوَّةً مُسَاوِيَةً لِمُرَكَّبَةِ وَزْنِهِ الْمُوَازِيَةِ لِلْمُسْتَوَى .

الْقَلاوُوظُ وَالْمُستوَى الْمَائِلُ

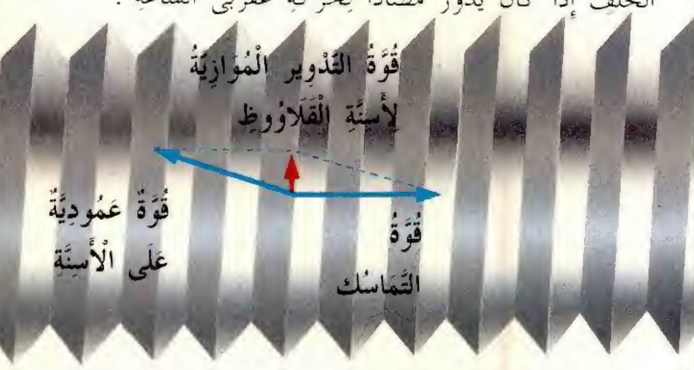
مِن السَّهْلِ مُلَاحَظَةُ الْعَلاقَةِ بَيْنَ الْمُسْتَوَى الْمَائِلِ وَالْقَلاووظ ، بِلَفِّ وَرَقَةٍ تُمَثِّلُ الْمُسْتَوَى الْمَائِلَ (يسار) حَوْلَ أُسْطُوانَةٍ . تَجِدُ أَنَّ الْحَلَزُونَ الْمُتَكَوِّنَ يُمَاثِلُ أَسِنَّةَ الْقَلاوُوظِ .

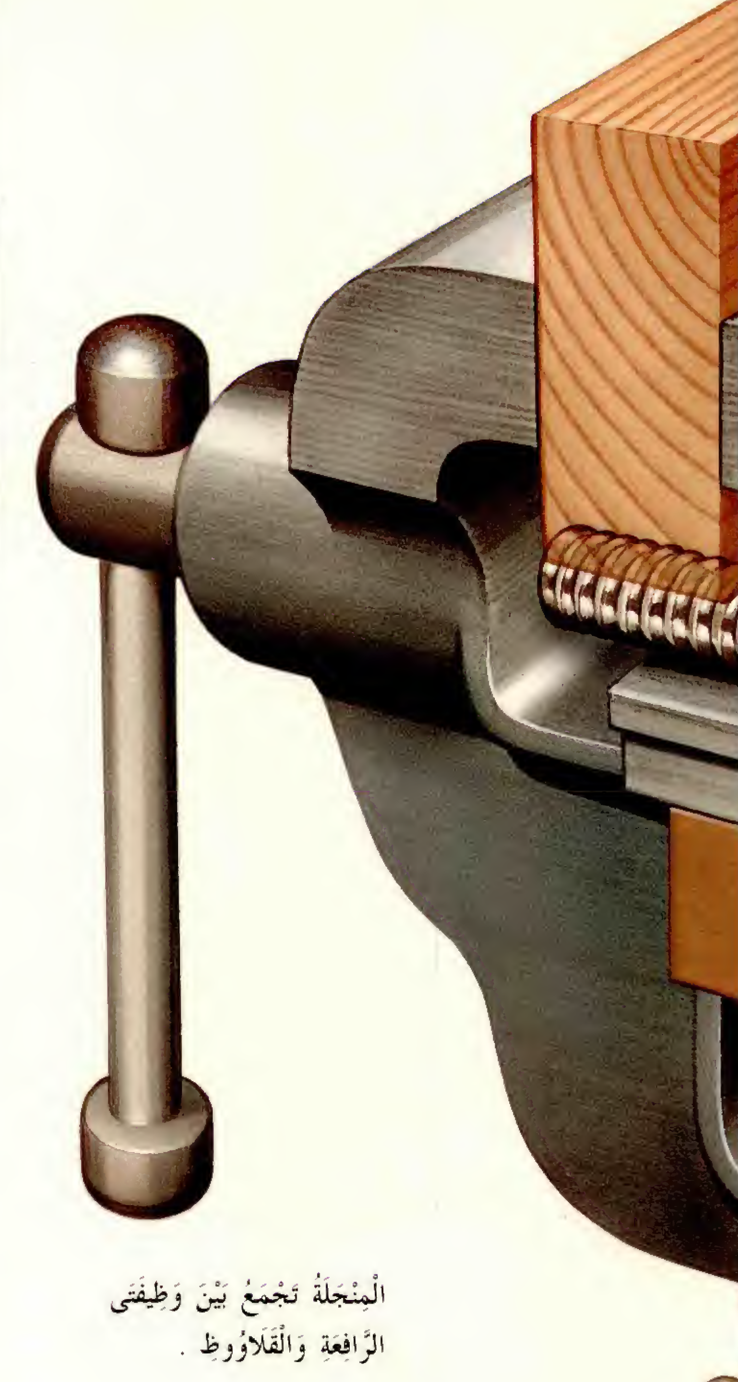
الْقُوَّةُ وَالشُّغْلُ . يُسَهِّلُ الْمُسْتَوَى الْمَائِلُ أَدَاءَ الْعَمَلِ ، وَلَكِنَّهُ لَا يُقَلِّلُ كَمِّيَّةَ الشُّغْلِ الْمَطْلُوبَةَ لِأَدائِه . فَرَفْعُ كُتْلَةٍ ١٠٠ باوند (و) قَدمًا رَأْسِيًّا يَتطَلَّبُ قُوَّةً تُؤَدِّى شُغْلا ١٠٠×٣٠ باوند. قَدم (القوة × المسافة). وَبِوَضْعِ الْكُتْلَةِ عَلَى مُسْتَوًى مَائِلٍ ٥٤٤,٥° تَقِلُّ الْقُوَّةُ اللَّازِمَةُ (ق) لِرَفْعِهَا إِلَى ٧٠٪ مِنْ وَزْنِهَا إِلا أَنَّهُ يَلْزَمُ سَحْبُهَا عَلَى الْمُسْتَوَى ٤٣ قَدَمًا لِتَرْتَفِعَ ٣٠ قَدَمًا . والْفَائِدةُ الْمِيكَانِيكِيَّةُ هِى ٤٣/٣٠ (أو المقاومة على القوة) .

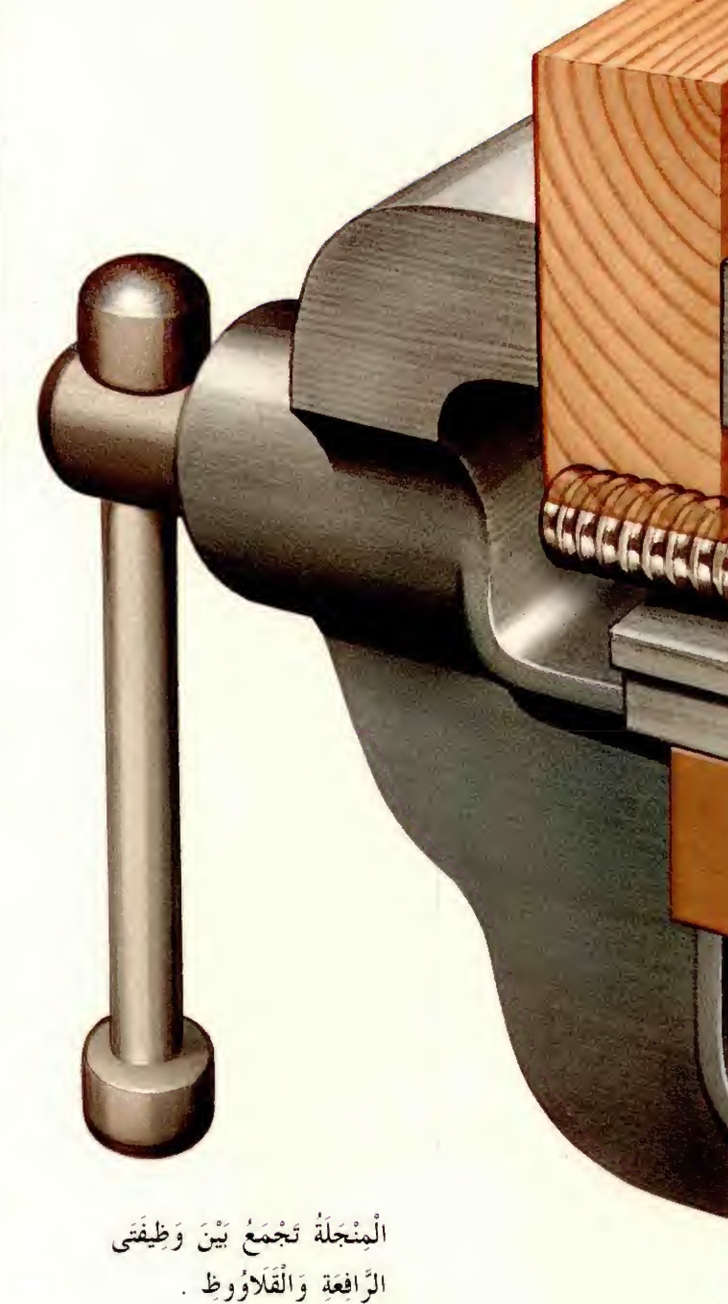


الْقُوَى الْمُؤَثِّرَةُ عَلَى قَلاووظ

عِنْدَما يَدُورُ الْقَلاووظُ ، فَإِنَّ أَسِنَّتَهُ تُوَلِّدُ قُوَّةً كَبِيرَةً عَلَى الْمَادَّةِ الَّتِي يَخْتَرِقُهَا . وَتَعْمَلُ هَذِهِ الْقُوَّةُ عَلَى تَحَرُّكِ الْقَلاوُوظِ إِلَى الْأَمَامِ إِذَا كَانَ يَدُورُ فِي اتِّجَاهِ حَرَكَةِ عَقْرَبَي السَّاعَةِ ، وَإِلَى الْخَلْفِ إِذَا كَانَ يَدُورُ مُضَادًّا لِحَرَكَةِ عَقْرَبَي السَّاعَةِ .



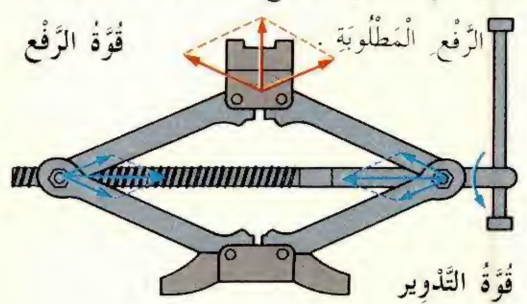




الْمِنْجَلَةُ تَجْمَعُ بَيْنَ وَظِيفَتَي الرَّافِعَةِ وَالْقَلاوُوظِ .

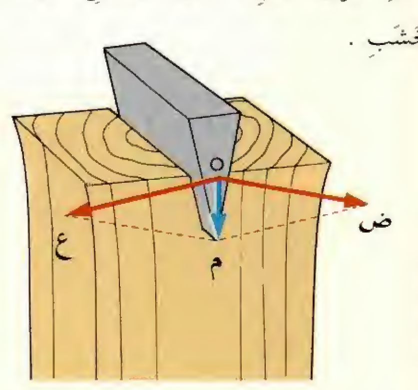
رَافِعَةٌ لَوْلَبِيَّةٌ (أَو مِرْفَاعٌ لَوْلَبِيٌّ)

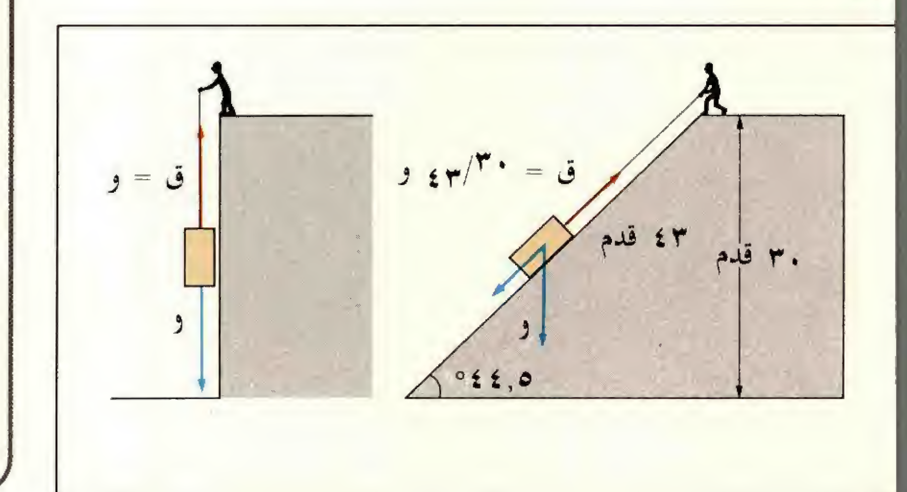
تَسْتَغِلُّ الرَّافِعَةُ اللَّوْلَبِيَّةُ الْقُوَى الْكَبِيرَةَ الَّتِي تُوَلِّدُهَا اللَّوَالِبُ الدَّائِرَةُ لِرَفْعِ أَجْسَامٍ ثَقِيلَةٍ مِثْلِ السَّيَّارَاتِ وَالشَّاحِنَاتِ . فَبِإِدَارَةِ الْقَلاوُوظِ الْمَرْكَزِيِّ بِمُسَاعَدَةِ رَافِعَةٍ ، فَإِنَّ نِهَايَتَي الْمِرْفَاعِ يَتَحَرَّكَانِ مَعًا لِتَوْلِيدِ قُوَّةِ الرَّفْعِ الْمَطْلُوبَةِ .



مُسْتَوَيَاتٌ مَائِلَةٌ لِلْقَطْعِ

الْوَتِدُ عِبَارَةٌ عَنْ مُسْتَوَيَيْنِ مَائِلَيْنِ مُلْتَصِقَيْنِ ظَهْرًا لِظَهْرٍ . وعِنْدَ دَفْعِهِ فِي قِطْعَةِ خَشَبٍ ، فَإِنَّ الْمُسْتَوَيَيْنِ يُوَلِّدَانِ قُوًى جَانِبِيَّةً كَافِيَةً لِفَصْلِ أَقْوَى أَنْوَاعِ الْخَشَبِ .





لماذا توجد تروس فى الدّرّاجات ؟

عِنْدَمَا حَوَّلَ الْقُدَمَاءُ الرَّافِعَةَ إِلَى دَائِرَةٍ حَوْلَ مِحْوَرِ ارْتِكَازٍ ، اكْتَشَفُوا آلَةً بَسِيطَةً جَدِيدَةً : هِىَ الْعَجَلَةُ وَالْمِحْوَرُ . وَتَسْتَخْدِمُ الدَّرَّاجَةُ هَذِهِ النَّظَرِيَّةَ فِى التُّرْسِ الْأَمَامِى الْمُسَنَّنِ وَدَوَّاسَةِ الْقَدَمَيْنِ . فَالْقُوَّةُ الْمُؤَثِّرَةُ عَلَى الدَّوَّاسَتَيْنِ الدَّائِرَتَيْنِ تُدِيرُ التُّرْسَ الْأَمَامِىَّ الْمُسَنَّنَ الْمُتَّصِلَ بِجَنْزِيرٍ يُدِيرُ عَجَلَةً وَمِحْوَرَ آخَرَيْنِ ، هِىَ مَجْمُوعَةُ التُّرُوسِ الْخَلْفِيَّةِ الْحُرَّةِ ، والْمُتَّصِلَةِ بِالْعَجَلَةِ الْخَلْفِيَّةِ لِلدَّرَّاجَةِ . وَقُوَّةُ دَفْعِ أَقْدَامِ الرَّاكِبِ لِلدَّوَّاسَاتِ تَدْفَعُ الدَّرَّاجَةَ إِلَى الْأَمَامِ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ مِنْ شَخْصٍ يَسِيرُ عَلَى قَدَمَيْهِ يَسْتَخْدِمُ نَفْسَ الْمَجْهُودِ .

وَيُمْكِنُ لِقَائِدِ الدَّرَّاجَةِ أَنْ يَسْتَخْدِمَ الدَّوَّاسَاتِ بِسُهُولَةٍ أَكْبَرَ ، أَوْ أَنْ يَزِيدَ الْفَائِدَةَ الْمِيكَانِيكِيَّةَ لِلْعَجَلَةِ وَالْمِحْوَرِ ، وَذَلِكَ بِاسْتِخْدَامِ مَجْمُوعَةٍ مُخْتَلِفَةِ الْأَحْجَامِ مِنَ التُّرُوسِ الْمُسَنَّنَةِ ، الَّتِى تَعْمَلُ عَلَى تَكْبِيرِ أَوْ تَصْغِيرِ الْقُوَى الْمُؤَثِّرَةِ عَلَيْهَا . وَقَائِدُو الدَّرَّاجَاتِ يَضْبِطُونَ نِسْبَةَ تَعْشِيقِ الْمُسَنَّنَاتِ ــ وَهِىَ النِّسْبَةُ بَيْنَ حَجْمِ التُّرْسِ الْأَمَامِىِّ إِلَى التُّرْسِ الْخَلْفِىِّ الْحُرِّ ــ لِتُنَاسِبَ نَوْعِيَّةَ الْمَسَارِ . فَإِذَا كَانَ التُّرْسُ الْخَلْفِىُّ الْحُرُّ أَصْغَرَ كَثِيرًا مِنَ التُّرْسِ الْأَمَامِىِّ ، فَإِنَّ الْقُوَّةَ الْمُؤَثِّرَةَ عَلَى الدَّوَّاسَاتِ تَتَضَاعَفُ بِقَدْرِ النِّسْبَةِ ، وَبِذَلِكَ تَدُورُ الْعَجَلَةُ الْخَلْفِيَّةُ بِسُرْعَةٍ أَقَلَّ وَلَكِنْ بِقُوَّةٍ كَبِيرَةٍ . كَمَا أَنَّ تُرْسًا خَلْفِيًّا حُرًّا كَبِيرًا يُقَلِّلُ هَذِهِ الْقُوَّةَ ، فَيَجْعَلُ التَّبْدِيلَ عَلَى الدَّوَّاسَاتِ أَسْهَلَ عِنْدَ صُعُودِ مُنْحَدَرٍ .

تُرْسٌ خَلْفِىٌّ حُرٌّ

مُبَدِّلُ الْجَنْزِيرِ

نِسْبَةُ تَعْشِيقِ الْمُسَنَّنَاتِ

بِتَعْدِيلِ نِسْبَةِ تَعْشِيقِ الْمُسَنَّنَاتِ ، يَتَكَيَّفُ قَائِدُ الدَّرَّاجَةِ مَعَ ظُرُوفِ الْقِيَادَةِ الْمُخْتَلِفَةِ . فَالنِّسْبَةُ الصَّغِيرَةُ تُنْتِجُ قُوَّةً صَغِيرَةً ، وَلَكِنَّهَا تُسَهِّلُ التَّبْدِيلَ لِصُعُودِ الْمُنْحَدَرَاتِ . بَيْنَمَا النِّسْبَةُ الْكَبِيرَةُ تُعْطِى قُوَّةً كَبِيرَةً تُسْتَخْدَمُ عَلَى السُّطُوحِ الْمُسْتَوِيَةِ أَوِ الْمُنْحَدِرَةِ لِأَسْفَلَ .

قوة القيادة

نِسْبَةُ تَعْشِيقِ الْمُسَنَّنَاتِ

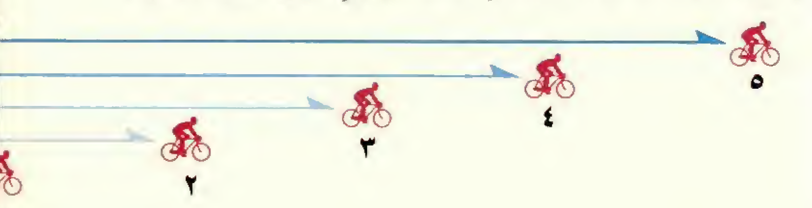
نِسْبَةُ تَعْشِيقِ الْمُسَنَّنَاتِ وَقُوَّةُ الْقِيَادَةِ



نِسْبَةُ تَعْشِيقِ الْمُسَنَّنَاتِ وَالسُّرْعَةِ

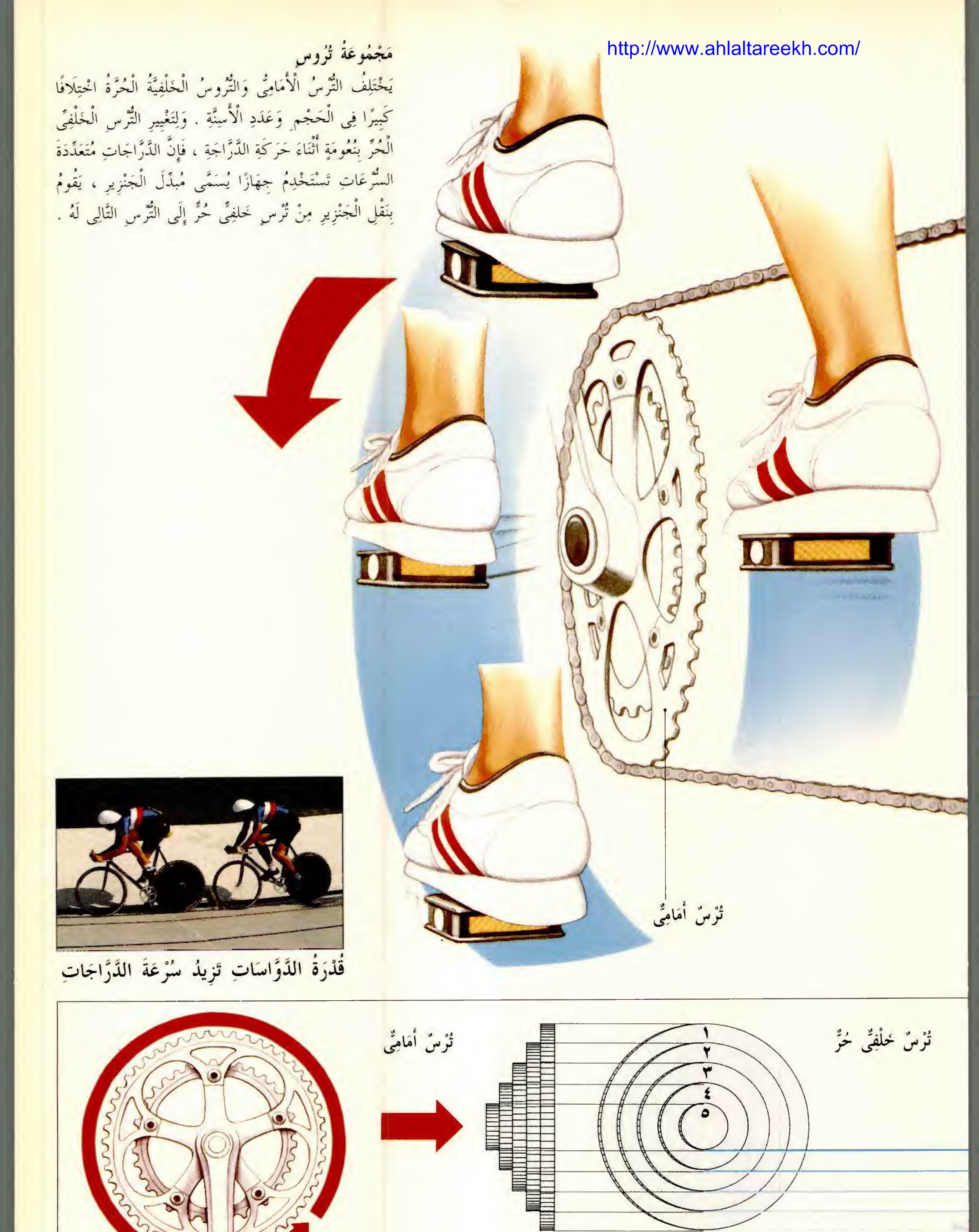
مُسَنَّنَاتُ التُّرُوسِ الْخَلْفِيَّةِ الْحُرَّةِ

كُلَّمَا صَغُرَ التُّرْسُ الْخَلْفِىُّ الْحُرُّ ، كُلَّمَا زَادَ عَدَدُ الدَّوْرَاتِ فِى الدَّقِيقَةِ الَّتِى تَعْمَلُهَا الْعَجَلَةُ الْخَلْفِيَّةُ لِلدَّرَّاجَةِ عِنْدَمَا تَدُورُ الدَّوَّاسَاتُ دَوْرَةً وَاحِدَةً . وَهَذَا الرَّسْمُ يُوَضِّحُ الْمَسَافَةَ الَّتِى تَقْطَعُهَا دَرَّاجَةٌ بَعْدَ دَوْرَةٍ وَاحِدَةٍ لِلدَّوَّاسَاتِ عِنْدَ اسْتِخْدَامِ خَمْسَةِ تُرُوسٍ خَلْفِيَّةٍ حُرَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ .



مَجْمُوعَةُ تُرُوسٍ

يَخْتَلِفُ التُّرسُ الْأَمَامِيُّ وَالتُّروسُ الْخَلْفِيَّةُ الْحُرَّةُ اخْتِلَافًا كَبِيرًا فِي الْحَجْمِ وَعَدَدِ الْأَسِنَّةِ . وَلِتَغْيِيرِ التُّرسِ الْخَلْفِيِّ الْحُرِّ بِنُعُومَةٍ أَثْنَاءَ حَرَكَةِ الدَّرَّاجَةِ ، فَإِنَّ الدَّرَّاجَاتِ مُتَعَدِّدَةَ السُّرعَاتِ تَسْتَخْدِمُ جِهَازًا يُسَمَّى مُبَدِّلَ الْجَنْزِيرِ ، يَقُومُ بِنَقْلِ الْجَنْزِيرِ مِنْ تُرسٍ خَلفِيٍّ حُرٍّ إِلَى التُّرسِ التَّالِي لَهُ .



قُدْرَةُ الدَّوَّاسَاتِ تَزِيدُ سُرْعَةَ الدَّرَّاجَاتِ

كَيْفَ تَعْمَلُ الْبَكَرَاتُ ؟

تَتَكَوَّنُ الْبَكَرَةُ مِنْ سِلْسِلَةٍ أَوْ سَيْرٍ يَمُرُّ حَوْلَ عَجَلَةٍ أَوْ مَجْمُوعَةِ عَجَلاتٍ . وَهِيَ مِثْلُ الرَّافِعَةِ ، تُقَلِّلُ الْمَجْهُودَ اللازِمَ لِرَفْعِ جِسْمٍ ، وَلَكِنَّ الْبَكَرَةَ يُمْكِنُهَا أَيْضًا تَغْيِيرُ اتِّجَاهِ الْقُوَّةِ الْمُؤَثِّرَةِ ، وَهَذِهِ مِيزَةٌ كَبِيرَةٌ . وَكُلَّمَا قَلَّتِ الْقُوَّةُ اللازِمَةُ لِرَفْعِ جِسْمٍ ، وَجَبَ زِيَادَةُ الْمَسَافَةِ الَّتِي تَتَحَرَّكُهَا هَذِهِ الْقُوَّةُ . وَاسْتِخْدَامُ مَجْمُوعَةٍ مِنَ الْبَكَرَاتِ يُضَاعِفُ الْفَائِدَةَ بِقَدْرِ عَدَدِ سُيُورِ التَّحْمِيلِ الْمُسْتَخْدَمَةِ . وَهَذِهِ الأَجْهِزَةُ الَّتِي تُوَفِّرُ الْمَجْهُودَ تَخْدُمُ أَغْرَاضًا كَثِيرَةً ، مِنْ رَفْعِ قُضْبَانِ الصُّلْبِ الثَّقِيلَةِ فِي مَوَاقِعِ الْبِنَاءِ إِلَى رَفْعِ الأَعْلامِ .

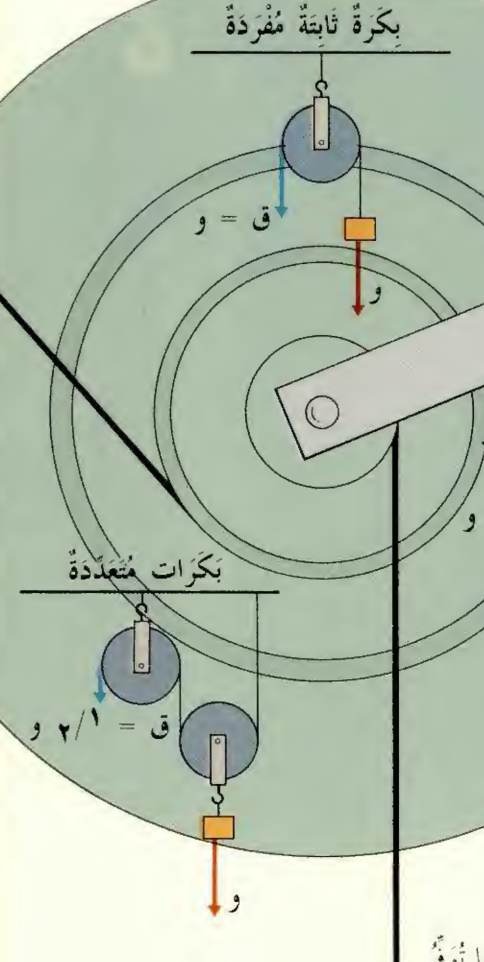
وَمِثْلُ بَاقِي الآلاتِ الْبَسِيطَةِ ، فَإِنَّ مَنْشَأَ الْبَكَرَاتِ غَيْرُ مَعْرُوفٍ . وَرُبَّمَا تَكُونُ قَدْ وُجِدَتْ فِي الْعُصُورِ الْبُدَائِيَّةِ الأُولَى ، وَلَكِنَّهَا لَمْ تُسَجَّلْ إِلَّا فِي الْقَرْنِ الْخَامِسِ قَبْلَ الْمِيلادِ حِينَ اسْتَخْدَمَهَا قُدَمَاءُ الإِغْرِيقِ فِي السُّفُنِ وَالْمَسَارِحِ .

بَكَرَةٌ ثَابِتَةٌ عَلَى قِمَّةِ سَارِيَةِ عَلَمٍ ، تُسَهِّلُ رَفْعَ الْعَلَمِ بِجَذْبِ الْحَبْلِ الْمُعَلَّقِ فِيهِ الْعَلَمُ لأَسْفَلَ .

ق و

الْبَكَرَاتُ الثَّابِتَةُ الْمُفْرَدَةُ

أَبْسَطُ أَنْوَاعِ الْبَكَرَاتِ لا يُقَلِّلُ الْمَجْهُودَ اللازِمَ لِرَفْعِ جِسْمٍ ، وَلَكِنَّهُ يُغَيِّرُ اتِّجَاهَ الْقُوَّةِ الْمُسْتَخْدَمَةِ (يسار، يسار أعلى) .



نِظَامُ الْبَكَرَاتِ الْمُتَحَرِّكَةِ عَلَى قُضْبَانٍ (يمين) هُوَ نِظَامٌ شَائِعٌ فِي خُطُوطِ التَّجْمِيعِ لأَنَّهُ يُسَهِّلُ نَقْلَ الأَجْزَاءِ الثَّقِيلَةِ . وَالْقُوَّةُ الْمُسْتَخْدَمَةُ (ق) تُسَاوِي حَاصِلَ ضَرْبِ مَقْلُوبِ عَدَدِ السُّيُورِ الْمُسْتَخْدَمَةِ (ن) × وَزْنِ الْجِسْمِ (و) .

(ق = ١/ن و)

و

الْبَكَرَاتُ الْمُتَحَرِّكَةُ الْمُفْرَدَةُ

إِذَا تَحَرَّكَتْ بَكَرَةٌ مُفْرَدَةٌ (أعلى) فَإِنَّهَا تُوَفِّرُ نِصْفَ الْمَجْهُودِ اللازِمِ لِرَفْعِ جِسْمٍ . وَلَكِنَّ اسْتِخْدَامَ نِصْفِ الْقُوَّةِ مَعْنَاهُ إِمَّا تَحْرِيكُ الْجِسْمِ ضِعْفَ الْمَسَافَةِ ، أَوْ أَنَّ الْقُوَّةَ تُسَاوِي نِصْفَ الْوَزْنِ (ق=١/٢و)



ثِقْلٌ يَتَدلَّى رَأْسِيًّا مِنْ بَكَرَةٍ ، يَحْفَظُ الْأَسْلاكَ الْكَهْرَبِيَّةَ الْأُفُقِيَّةَ مَشْدُودَةً .

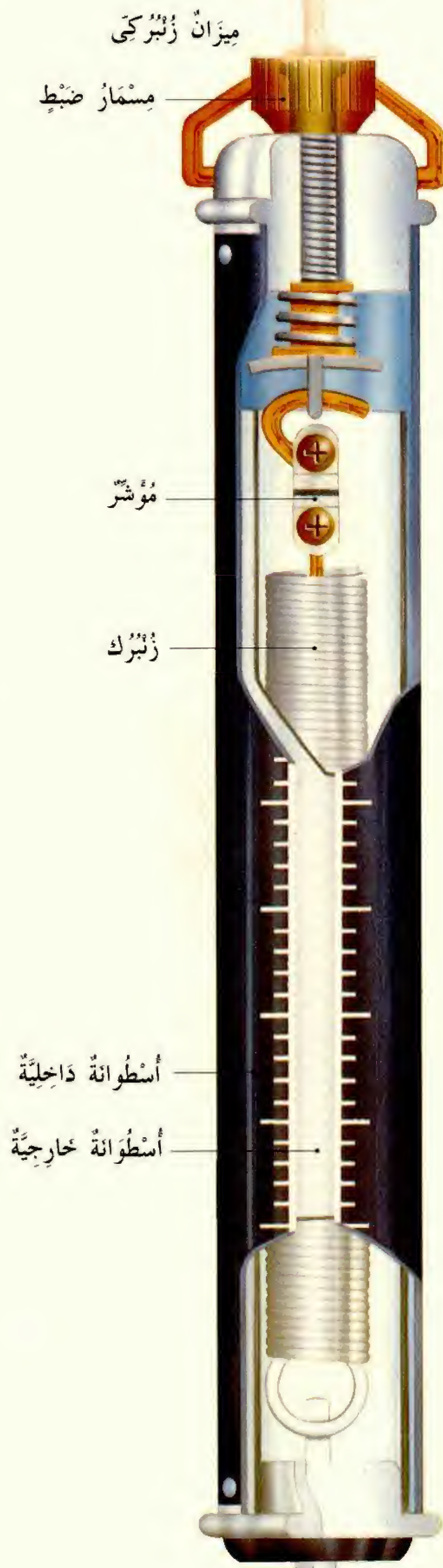
مِرْفَعٌ حُرٌّ (يسار) يَتَكَوَّنُ مِنْ سِلْسِلَةٍ حَوْلَ بَكرَةٍ مُتحَرِّكَةٍ وَبَكَرَتَيْنِ ثَابِتَتَيْنِ . وَرَفْعُ أَيِّ حِمْلٍ يَحْتَاجُ قُوَّةً تُعَادِلُ نِصْفَ وَزْنِ هَذَا الْحِمْلِ .

البَكَرَاتُ الْمتعَدِّدَة

باسْتِخْدَامِ مَجْمُوعَةٍ مِن البَكَرَاتِ الثَّابِتَةِ وَالْمُتَحرِّكَةِ (أعلى) ، فَإِنَّ تَأْثِيرَ الْقُوَّةِ الْمُسْتَخْدَمَةِ يَتَضَاعَفُ بِقَدْرِ عَـدَدِ سُيُـورِ التَّحْمِيـل الْمُسْتَخْدَمَةِ (وهـى هنـا =٢) ، فَتَكُونُ الْقُوَّةُ نِصْفَ الْوَزْنِ .

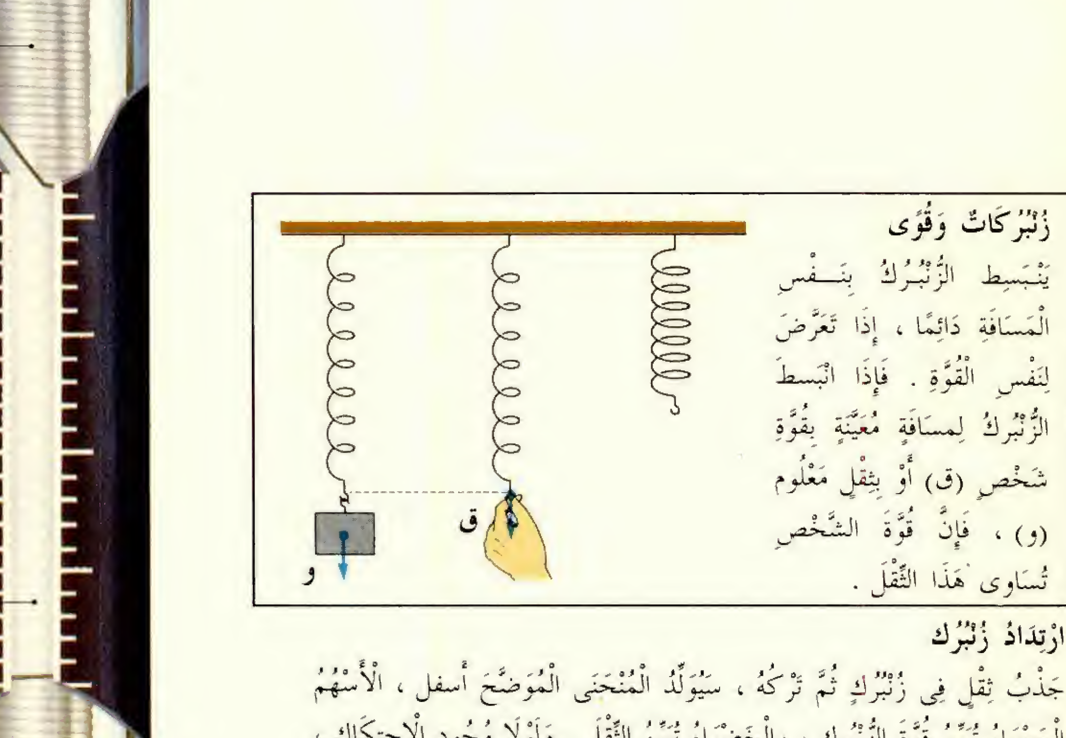
تُسْتَخْدَمُ كَثِيرًا مَعَ الْمِرْفَاعَاتِ الضَّخْمَةِ كُتْلَةٌ وَبَكَّارَةٌ تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجْمُوعَةِ بَكَراتٍ مُتحَرِّكَةٍ مُتَّصِلَةٍ بِالْحِمْلِ ، وَمَجْمُوعَةِ بَكَراتٍ ثَابِتَةٍ مُتَّصِلَةٍ بِذِرَاعِ الْمِرْفَاعِ . وَيُحَقِّقُ الْمِرْفَاعُ فَائِـدَةً مِيكَانِيكِيَّةً كَبِيرَةً بِسَبَبِ هَذَا الْعَدَدِ الْكَبِيرِ مِن الْبَكَراتِ ، فَيَتَمَكَّن مِنْ رَفْعِ الْأَجْسَامِ الْبَالِغَةِ الثِّقَلِ مِثْلِ قُضْبَانِ الصُّلْبِ . وَالْقُوَّةُ المسْتَخْدَمَةُ (ق) تُعَادِلُ مَقْلُوبَ عَدَدِ الْكَبْلاتِ الْمُسْتَخْدَمَةِ (ن) مَضْرُوبًا فِى الْوَزْنِ (و) .

كَيْفَ تَقِيسُ الزُّنْبُرُكَاتُ مَقَادِيرَ الْقُوَى ؟



الزُّنْبُرُكَاتُ هِيَ مِيكَانِيكِيَّةٌ تَنْبَسِطُ وَتَنْضَغِطُ وَفْقَ قَانُونٍ بَسِيطٍ وَضَعَهُ لِأَوَّلِ مَرَّةٍ الْفِيزْيَائِيُّ الْإِنْجِلِيزِيُّ رُوبِرْت هُوك عَام ١٦٧٨ ، وَسُمِّيَ قَانُونَ هُوك . وَيَنُصُّ عَلَى أَنَّ التَّشَوُّهَ فِي الزُّنْبُرُكَاتِ يَتَنَاسَبُ مَعَ الْقُوَّةِ الْمُؤَثِّرَةِ عَلَيْهَا . أَيْ أَنَّهُ كُلَّمَا زَادَتْ قُوَّةُ الْجَذْبِ أَو الدَّفْعِ عَلَى زُنْبُرُكٍ ، كُلَّمَا زَادَ انْبِسَاطه أَوْ انْضِغَاطُهُ . وَلَكِنْ عِنْدَ نُقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ تُسَمَّى حَدَّ الْمُرُونَةِ ، فَإِنَّ الرَّوَابِطَ الَّتِي تَرْبِطُ ذَرَّاتِ الزُّنْبُرِكِ سَتَتَبَدَّلُ وَيَحْدُثُ تَشَوُّهٌ دَائِمٌ فِي الزُّنْبُرُكِ ، وَلَا يَعُودُ أَبَدًا لِشَكْلِهِ الْأَصْلِيِّ .

وَمُرُونَةُ الزُّنْبُرُكِ تَجْعَلُهُ مُفِيدًا فِي الْمَقَايِيسِ وَالْموازِين . وَمُقَارَنَةٌ بَيْنَ انْبِسَاطِ زُنْبُرُكٍ بِوَزْنٍ مَعْلُومٍ وبِوَزْنٍ مَجْهُولٍ ، تُمَكِّنُنَا مِنْ حِسَابِ الْوَزْنِ الْمَجْهُولِ بِسُهُولَةٍ .

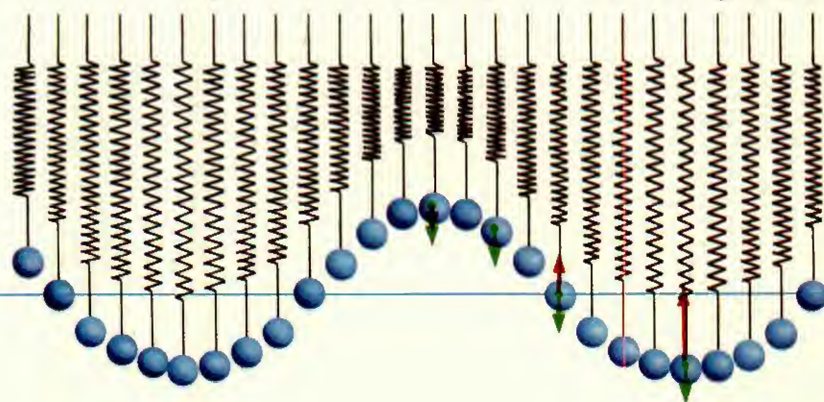


زُنْبُرُكَاتٌ وَقُوَى

يَنْبَسِطُ الزُّنْبُرُكُ بِنَفْسِ الْمَسَافَةِ دَائِمًا ، إِذَا تَعَرَّضَ لِنَفْسِ الْقُوَّةِ . فَإِذَا انْبَسطَ الزُّنْبُرِكُ لِمسَافَةٍ مُعَيَّنَةٍ بِقُوَّةِ شَخْصٍ (ق) أَوْ بِثِقْلٍ مَعْلُوم (و) ، فَإِنَّ قُوَّةَ الشَّخْصِ تُسَاوِي هَذَا الثِّقْلَ .

ارْتِدَادُ زُنْبُرُك

جَذْبُ ثِقْلٍ فِي زُنْبُرُكٍ ثُمَّ تَرْكُهُ ، سَيُوَلِّدُ الْمُنْحَنَى الْمُوَضَّحَ أسفل ، الْأَسْهُمُ الْحَمْرَاءُ تُبَيِّنُ قُوَّةَ الزُّنبُرِكِ ، والْخَضْرَاءُ تُبَيِّنُ الثِّقْلَ . وَلَوْلَا وُجودِ الْاحتِكَاكِ ، الَّذِي يُبْطِئُ هَذِهِ الْحرَكَاتِ ، لَظَلَّ الزُّنْبُرُكُ يَنْبَسِطُ وَيَنْضَغِطُ إِلَى الْأَبَدِ .

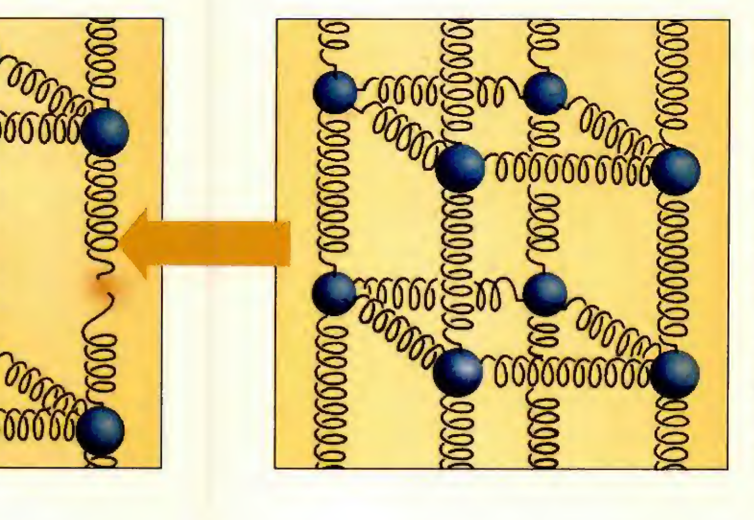


كَيْفِيَّةُ انْبِسَاطِ الزُّنْبُرُكِ

الْمَلَفُّ الزُّنْبُرُكِيُّ الْعَادِيُّ هُوَ زُنْبُرُكٌ الْتِوائِيٌّ . فَإِذَا أَثَّرَتْ قُوَّةٌ عَلَى الزُّنْبُرُكِ ، وَانْبَسَطَ فَإِنَّ السِّلْكَ يَلْتَوِى . وَهَذا الْالْتِواءُ يُجْهِدُ الرَّوَابِطَ الَّتِى تَرْبِطُ بَيْنَ الذَّرَّاتِ الْمُفْرَدَةِ فِى الزُّنْبُرُكِ ، فَتَتَغَيَّرُ الْمسافَةُ بَيْنَ الذَّرَّاتِ . وَبِإِزَالَةِ الْقُوَّةِ الْمُؤَثِّرَةِ ، تَعُودُ الذَّرَّاتُ إِلَى مَوَاضِعِهَا الْأَصْلِيَّة ، فَيَسْتَرِدُّ الزُّنْبُرُكُ شَكْلَهُ الْأَصْلِىَّ .

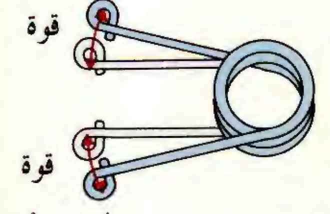
الْمُرونَةُ

تَعْمَلُ ذَرَّاتُ الزُّنْبُرُكِ الْمَعْدِنِىّ كَأَنَّهَا مُرْتَبِطَةٌ بِزُنْبُرُكَاتٍ ، فَإِذَا ضُغِطَتْ ، فَإِنَّ الذَّرَّاتِ تَمِيلُ لِلْعَوْدَةِ إِلَى مَوَاضِعِهَا الْأَصْلِيَّةِ . وَإِذَا جُذِبَتْ لِتَبْتَعِدَ عَنْ بَعْضِهَا ، فَإِنَّهَا تَمِيلُ لِلتَّقَارُبِ لِيَعُودَ لِلْمَعْدِنِ شَكْلُهُ الْأَصْلِىُّ . وَإِذَا انْبَسَطَتِ الذَّرَّاتُ خَارِجَ حَدِّ مُرُونَتِهَا ، فَإِنَّ الرَّوَابِطَ بَيْنَهَا تَنْقَطِعُ ، وَيَلْتَوِى الْمَعْدِنُ بِصِفَةٍ دَائِمةٍ وَيَأْخُذُ شَكْلًا جَدِيدًا .



الْالْتِوَاءُ وَالْقُضْبَانُ الزُّنْبُرُكِيَّة

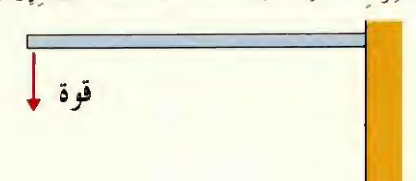
الْقُضْبَانُ الْإِلْتِوَائِيَّةُ هِىَ قُضْبَانٌ قَابِلَةٌ لِلالْتِوَاءِ ، وَتَسْتَعِيدُ شَكْلَهَا الْأَصْلِىَّ بِإِزالَةِ الْقُوَّةِ .



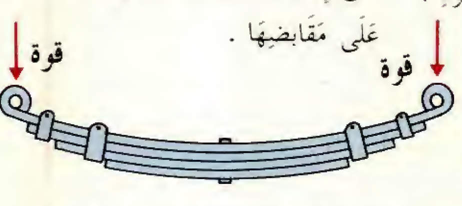
الزُّنبُركُ الحَلَزونِى يَعْمَلُ فِى الْمِقَصَّاتِ عَلَى إِبْعَادِ الشَّفَرَاتِ عِنْدَ إِزَالَةِ الضَّغْطِ عَلَى مَقَابِضِهَا .



أَكْثَرُ أَنْوَاعِ الزُّنْبُرُكَاتِ اللَّوْلَبِيَّةِ تُوجَدُ فِى أَجْسَامٍ مِثْلِ قَلَمِ الْحِبْرِ الْجَافِّ ، وَمُمْتَصِّ الصَّدَمَاتِ .



الزُّنْبُرُكُ الْمُسْتَوِى هُوَ قَضِيبٌ يَعُودُ إِلَى شَكْلِهِ الْمُسْتَقِيمِ بَعْدَ ثَنْيِه .

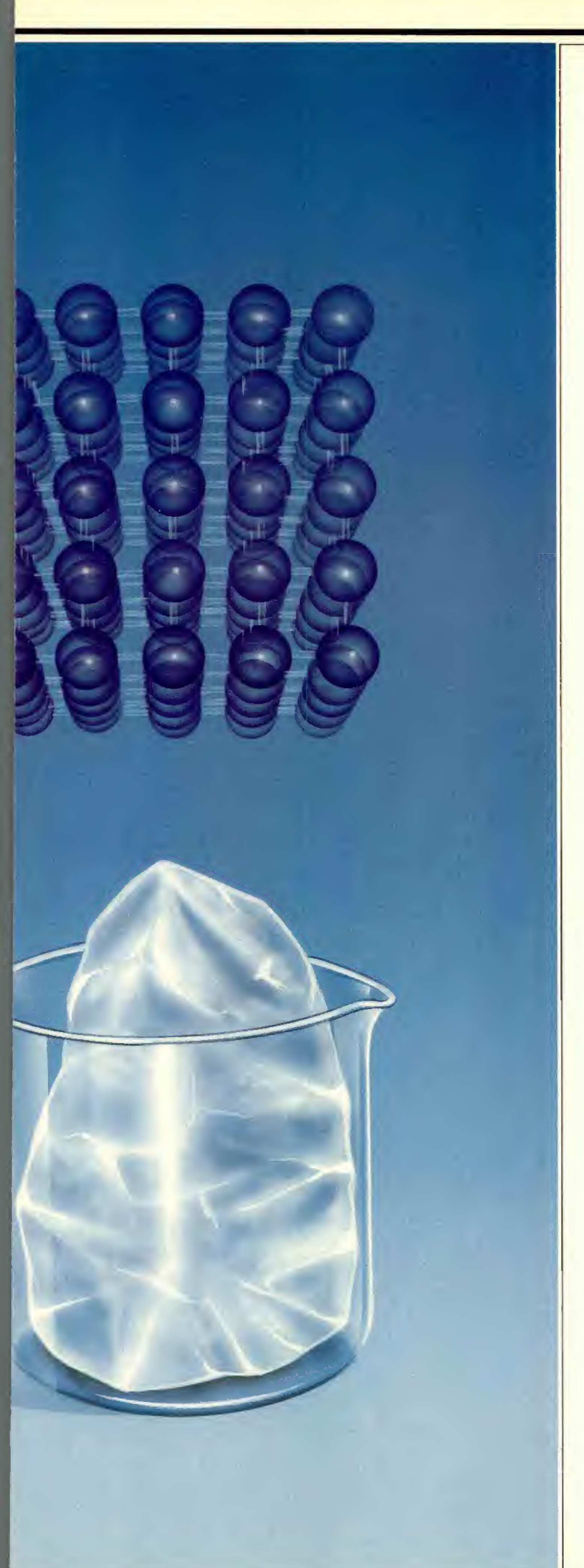


الزُّنْبُرُكُ الْوَرَقِىُّ يَتَكَوَّنُ مِنْ عِدَّةِ قُضْبَانٍ مَعْدِنِيَّةٍ مُقَوَّسَةٍ ، وَيُشْبِهُ الزُّنْبُرُكَ الْمُسْتَوِى وَلَكِنَّهُ أَمْتَنُ كَثِيرًا .



الْمِلَفَّاتُ الزُّنْبُرُكِيَّةُ ، تُسْتَخْدَمُ كَثِيرًا فِى سَاعَاتِ الْيَدِ ، وَيُمْكِنُ لَفُّهَا بِإِحْكَامٍ ، وَتَثْبِيتُهَا فِى مِسَاحَاتٍ صَغِيرَةٍ .

4 دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ وَالْحَرَارَةُ وَالْجُزَيْئَاتُ



مِن الْمُتَفَق عَلَيْهِ فِى حَيَاتِنَا الْيَوْمِيَّةِ ، أَنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ الَّتِى نَقِيسُهَا بِوَاسِطَةِ تِرْمُومِترٍ ، تَدُلُّ عَلَى الدِّفْءِ النِّسْبِىِّ أَوِ الْبُرُودَةِ النِّسْبِيَّةِ لِلْأَشْيَاءِ . وَعِلْمِيًّا ، فَإِنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ هِىَ مِقْيَاسٌ لِلطَّاقَةِ الْحَرَكِيَّةِ الْمُتَوَسِّطَةِ لِجُزَيْئَاتِ الْمَادَّةِ . وَهَذِهِ الطَّاقَةُ الْحَرَكِيَّةُ تَعْكِسُ مَدَى سُرْعَةِ حَرَكَةِ الْجُزَيْئَاتِ . عِند ٥٠°م (١٢٢° ف) يَكُونُ لِجُزَيْئَاتِ الْمَاءِ طَاقَةٌ حَرَكِيَّةٌ أَكْبَرُ وَسُرْعَةٌ أَكْبَرُ مِنْ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ عِنْدَ ٥°م (٤١° ف) .

وَرَغْمَ أَنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ وَالطَّاقَةَ الْحَرَارِيَّةَ قَدْ يَعْتَبِرُهُمَا الْبَعْضُ شَيْئًا وَاحِدًا ، إِلَّا أَنَّهُمَا مُخْتَلِفَانِ تَمَامًا . فَدَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الْمُقَاسَةُ بِالتِّرْمُومِترِ تُمَثِّلُ كَمِّيَّةَ طَاقَةِ الْمَادَّةِ النَاتِجَة عَن حَرَكَةِ جُزَيْئَاتِهَا . أَمَّا الطَّاقَةُ الْحَرَارِيَّةُ فَهِىَ مِقْيَاسٌ لِلْمَجْمُوعِ الْكُلِّى لِطَاقَاتِ جَمِيعِ جُزَيْئَاتِ الْمَادَّةِ . فَمَثَلًا ، كُتْلَةٌ مِن الْجَلِيدِ قَدْرُهَا ٢ رِطْل تَحْتَوِى طَاقَةً حَرَارِيَّةً ضِعْفَ كُتْلَةٍ أُخْرَى مِن الْجَلِيدِ قَدْرُهَا رِطْلٌ وَاحِدٌ ، رَغْمَ أَنَّ دَرَجَتَى حَرَارَتِهِمَا وَاحِدَةٌ .

وَفِى هَذَا الْفَصْلِ سَنَشْرَحُ كَيْفَ تَنْتَقِلُ الْحَرَارَةُ مِن الْمَوَادِّ السَّاخِنَةِ إِلَى الْأَبْرَدِ ، أَوْ خِلَالَ الْمَوَائِعِ مِثْلِ الْمَاءِ وَالْهَوَاءِ . وَلَكِنَّ الْحَرَارَةَ تَعْمَلُ أَكْثَرَ مِنْ مُجَرَّدِ الانْتِقَالِ . وَعِنْدَ ٠°م (٣٢° ف) تُحَوِّلُ الْحَرَارَةُ الْجَلِيدَ الْجَامِدَ إِلَى مَاءٍ سَائِلٍ . وَعِنْدَ ١٠٠°م (٢١٢° ف) ــ وَهِىَ دَرَجَةُ غَلَيَانِ الْمَاءِ ــ تُحَوِّلُ الْحَرَارَةُ الْمَاءَ السَّائِلَ إِلَى غَازٍ هُوَ بُخَارُ الْمَاءِ . وَمُعْظَمُ الْمَوادِّ الْأُخْرَى تَقْرِيبًا يَحْدُثُ بِهَا مِثْلُ هَذِهِ التَّغَيُّرَاتِ عِنْدَ دَرَجَاتِ حَرَارَةٍ خَاصَّةٍ بِهَا . وَكُلٌّ مِنْ هَذِهِ التَّحَوُّلَاتِ ــ الْمُسَمَّاةِ أَطْوَارًا أَوْ تَغَيُّرَاتٍ فِى حَالَةِ الْمَادَّةِ ــ تَحْدُثُ بِسَبَبِ الْحَرَارَةِ .

الْفَرْقُ بَيْنَ الْجَلِيدِ ، وَالْمَاءِ ، وَبُخَارِ الْمَاءِ هُوَ فِى تَرْتِيبِ الْجُزَيْئَاتِ . فَفِى الْجَلِيدِ (يسار) تَرْتَبِطُ جُزَيْئَاتٌ بَطِيئَةُ الْحَرَكَةِ ارْتِبَاطًا وَثِيقًا . وَالْحَرَارَةُ تُضْعِفُ هَذِهِ الرَّوابِطَ (وسط) فَيَنْصَهِرُ الْجَلِيدُ ، وَزِيَادَةُ الْحَرَارَةِ تُحَرِّرُ الْجُزَيْئَاتِ عَلَى صُورَةِ غَازٍ (أقصى يسار) .



لماذا يظلُّ الْجَلِيدُ بارِدًا أَثْنَاء انصِهارِه ؟

إِذَا وُضِعَ الْجَلِيدُ فِى إناءٍ فَوْقَ مَوْقِدٍ مُشْتَعِلٍ ، فَإِنَّ الْإِنَاءَ يَسْخُنُ ، وَيَبْدَأُ الْجَلِيدُ فِى الْانْصِهَارِ . وَلَكِنْ مَادَامَ هُنَاكَ جَلِيدٌ فِى الْإِنَاءِ ، فَإِنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ لَا تَرْتَفِعُ عَنْ ٠°م (٣٢° ف) مَهْمَا كَانَتْ دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْمَوْقِدِ . وَسَبَبُ ذَلِكَ أَنَّ كُلَّ الْحَرَارَةِ تُسْتَنْفَدُ فِى كَسْرِ الْقُوَى الْفِيزْيَائِيَّةِ الَّتِى تَرْبطُ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ بِبَعْضِهَا مُكَوِّنَةً الجَلِيد .

وَتَرْتَبِطُ جُزَيْئَاتُ الْمَاءِ فِى الْجَلِيدِ بِرَوَابِطَ ضَعِيفَةٍ بَيْنَ ذَرَّةٍ هَيْدرُوجين (أزرق) عَلَى جُزَيْءِ مَاءٍ وَذَرَّةٍ أُكْسُجِين (أحمر) لِجُزَيْءِ مَاءٍ آخَرَ . وَتَكُونُ الْبِلُّورَةُ السُّدَاسِيَّةُ النَّاتِجَةُ شَدِيدَةَ الْارْتِبَاطِ . وَعِنْدَ ٠°م ، تَتَحَرَّكُ الْجُزَيْئَاتُ بِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ فَتَضْعُفُ الروابطُ . وَيَتَكَسَّرُ بَعْضُهَا ، فَتَتَحَوَّلُ بَعْضُ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ مِنَ الْجَلِيدِ إِلَى السَّائِلِ . وَعَمَلِيَّةُ الْانْصِهَارِ هَذِهِ تُسَمَّى تَغَيُّر الْحَالَةِ حَيث يَتَغَيَّرُ الْمَاءُ مِن الْحَالَةِ الجَامِدَةِ إِلَى الْحَالَةِ السَّائِلَةِ ـــ وَدَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الَّتِى يَحْدُثُ عِنْدَهَا هَذَا التَّحَوُّلُ تُسَمَّى نُقْطَةَ الْانْصِهَارِ .

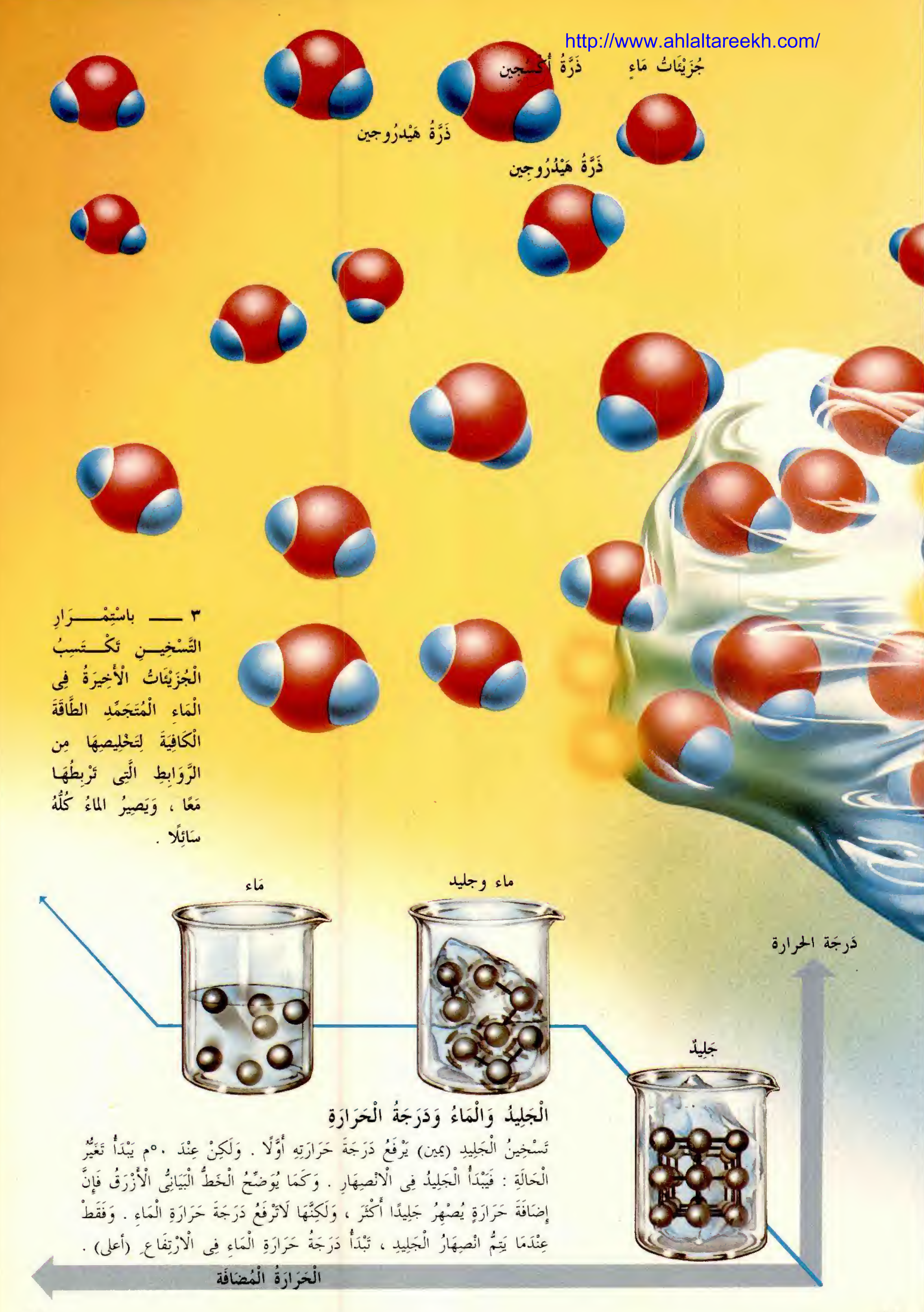
وَتَكْسِيرُ الرَّوَابِطِ الَّتِى تَرْبطُ جُزَيْئَاتِ الماءِ بِبَعْضِهَا فِى الجَلِيدِ يَتَطَلَّبُ طَاقَةً ، لِدَرَجَةِ أَنَّ كَمِّيَّةً كَبِيرَةً مِنْ حَرَارَةِ الْمَوقِدِ تُسْتَهْلَكُ فِى فَصْمِ عُرَى هَذِهِ الرَّوَابِطِ بَدَلًا مِنْ رَفْعِ دَرَجَةِ حرارَةِ الْجَلِيدِ . وَكَمِّيَّةُ الْحَرَارَةِ اللَّازِمَةِ لِإِكْمَالِ تَغَيُّرِ الْحَالَةِ تُسَمَّى حَرَارَةَ الْانْصِهَارِ أَوْ حَرَارَةَ التَّحَوُّلِ ، لِأَنَّهَا لَا تُسَبِّبُ ارْتِفَاعَ دَرَجَةِ الْحَرَارَةِ . وَلَكِنْ بِمُجَرَّدِ أَنْ تَتَكَسَّرَ آخِرُ الرَّوَابِطِ وَيَنْصَهِرُ الْجَلِيدُ بِأَكْمَلِهِ ، فَإِنَّ دَرَجَةَ حَرَارَةِ الْمَاءِ تَبْدَأُ فِى الْارْتِفَاعِ عن ٠°م .



كَيْفَ يَنْصَهِرُ الْجَلِيدُ

١ ـــ فِى الْجَلِيدِ ، تَتَحَرَّكُ جُزَيْئَاتُ الْمَاءِ بِبُطْءٍ شَدِيدٍ فَتَرْتَبِطُ بِبَعْضِهَا الْبَعْضُ مُكَوِّنَةً جَامِدًا . وَعِنْدَما يَسْخُنُ الْجَلِيدُ (الكرات الصفراء تمثل الحرارة) تَكْتَسِبُ الْجُزَيْئَاتُ طَاقَةً وَتَتَحَرَّكُ أَسْرَعَ وَلَكِنَّهَا مَازَالَتْ مُرْتَبِطَةً مَعًا عَلَى صُورَةِ جَلِيدٍ .

٢ ـــ عند زيادة كمية الْحَرارَةِ ، فَإِنَّ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ عَلَى سَطْحِ الْجَلِيدِ تَهْتَزُّ أَسْرَعَ ، وَتَكْسِرُ بَعْضَ الرَّوَابِطِ بينها فَتَهْرُبُ هَذِهِ الْجُزَيْئَاتُ مِن الْجَلِيدِ عَلَى شَكْلِ مَاءٍ سَائِلٍ . وَزِيَادَةُ الْحَرَارَةِ تَكْسِرُ الرَّوَابِطَ الْبَاقِيَةَ وَيَنْصَهِرُ بَاقِى الْجَلِيدِ .



٣ ــــ باسْتِمْــرَارِ التَّسْخِيـنِ تَكْـتَسِبُ الْجُزَيْئَاتُ الْأَخِيرَةُ فِى الْمَاءِ الْمُتَجَمِّدِ الطَّاقَةَ الْكَافِيَةَ لِتَخْلِيصِهَا مِن الرَّوَابِطِ الَّتِى تَرْبِطُهَا مَعًا ، وَيَصِيرُ الماءُ كُلُّهُ سَائِلًا .

الْجَلِيدُ وَالْمَاءُ وَدَرَجَةُ الْحَرَارَةِ

تَسْخِينُ الْجَلِيدِ (يمين) يَرْفَعُ دَرَجَةَ حَرَارَتِهِ أَوَّلًا . وَلَكِنْ عِنْدَ ٠°م يَبْدَأُ تَغَيُّرُ الْحَالَةِ : فَيَبْدَأُ الْجَلِيدُ فِى الْانْصِهَارِ . وَكَمَا يُوَضِّحُ الْخَطُّ الْبَيَانِىُّ الْأَزْرَقُ فَإِنَّ إِضَافَةَ حَرَارَةٍ يُصْهِرُ جَلِيدًا أَكْثَرَ ، وَلَكِنَّهَا لَاتَرْفَعُ دَرَجَةَ حَرَارَةِ الْمَاءِ . وَفَقَطْ عِنْدَمَا يَتِمُّ انْصِهَارُ الْجَلِيدِ ، تَبْدَأُ دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْمَاءِ فِى الْارْتِفَاعِ (أعلى) .

كَيْفَ تُقَاسُ دَرَجَاتُ الْحَرَارَةِ شَدِيدَةُ الارْتِفَاعِ ؟

إنَّ قِيَاسَ دَرَجَةِ حَرَارَةِ دِيكٍ رُومِيٍّ مُهِمَّةٌ بَسِيطَةٌ ، إذْ نَضَعُ فِي جِسْمِهِ تِرْمُومِتْرًا مُعَيَّنًا . وَلَكِنَّنَا إذَا حَاوَلْنَا ذَلِكَ مَعَ حَدِيدٍ مُنْصَهِرٍ فِي فُرْنٍ لَافِحٍ حَيْثُ تَزِيدُ دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ عَلَى ١٥٠٠°م ، فَإِنَّ التِّرْمُومِتْرَ يَنْصَهِرُ . وَلِقِيَاسِ مِثْلِ هَذِهِ الدَّرَجَاتِ الْعَالِيَةِ جِدًّا ، تُقَاسُ طَاقَةُ الإِشْعَاعِ الحرارِيِّ الَّتِي تَبْعَثُهَا هَذِهِ الْأَجْسَامُ السَّاخِنَةُ .

وَالطَّاقَةُ الْحَرَارِيَّةُ الإِشْعَاعِيَّةُ هِيَ الْأَشِعَّةُ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ ، وَهِيَ مِثْلُ الضَّوْءِ صُورَةٌ مِن الْإِشْعَاعِ الْكَهْرُومغْنَاطِيسِيِّ . وَرَغْمَ أَنَّ الْأَشِعَّةَ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ غَيْرُ مَرْئِيَّةٍ ، فَإِنَّ بَعْضَ الْأَجْهِزَةِ الْأَلِكْتُرُونِيَّةِ يُمْكِنُهَا الْكَشْفُ عَنْهَا . وَهَذِهِ الْمِكْشَافَاتُ تُحَوِّلُ الْأَشِعَّةَ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ إِلَى إِشَارَةٍ كَهْرَبِيَّةٍ تَزْدَادُ شِدَّتُهَا بَازْدِيَادِ طَاقَةِ الْأَشِعَّةِ الَّتِي يَتَعَرَّضُ لَهَا الْكَشَّافُ . وَالتِّرْمُوجرَام هُوَ أَحَدُ أَنْوَاعِ التِّرْمومِتْرَات لِقِيَاسِ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ الْعَالِيَةِ (أسفل) وَفِيهِ يُحِسُّ الْمِكْشَافُ بِالْإِشْعَاعِ الصَّادِرِ مِن الْجِسْمِ السَّاخِنِ ، وَتَقُومُ مَاسِحَاتٌ بِاخْتِيَارِ مَجْمُوعَةٍ فَقَطْ عَلَى الْجِسْمِ لِتَقْدِيرِ تَوْزِيعِ دَرَجَةِ الْحَرَارَةِ . وَيُقَارِنُ حَاسِبٌ آلِيٌّ بَيْنَ الْإِشَارَاتِ الصَّادِرَةِ مِن الْمَصْدَرَيْنِ ، وَتُحَدَّدُ دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْجِسْمِ السَّاخِنِ . وَيَقِيسُ التِّرْمُوجرَامُ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ حَتَّى ٩٠٠°م (١٦٥٢°ف) .

أَمَّا الْأَجْسَامُ الْفَائِقَةُ السُّخُونَةِ فَتَبْعَثُ إِشْعَاعَاتٍ مَرْئِيَّةً بِالْإِضَافَةِ لِلْأَشِعَّةِ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ . وَالْبِيرُومِتْرُ الضَّوْئِيُّ مِنْ نَوْعِ الْفَتِيلَةِ الْمُخْتَفِيَةِ يُمْكِنُهُ قِيَاسُ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ حتى ٣٠٠٠°م (٥٤٣٢°ف) بِمُقَارَنَةِ سُطُوعِ الْجِسْمِ السَّاخِنِ بِسُطُوعِ فَتِيلِ مِصْبَاحِ تَنْجِسْتُن دَرَجَةُ حَرَارَتِهِ مَعْرُوفَة .



كَيْفَ يَعْمَلُ التِّرْمُوجِرَام

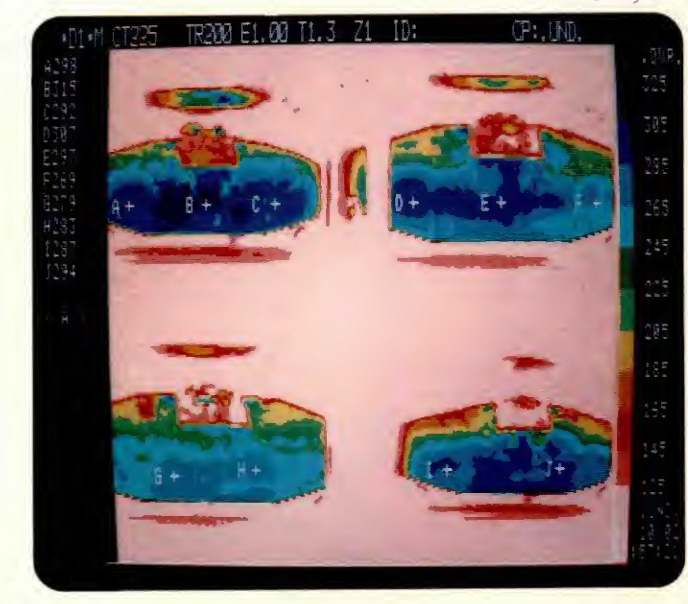
لَوْنُهَا وَهِيَ سَاخِنَة

تُرَكِّزُ الْمَرَايَا وَالْعَدَسَاتُ الْأَشِعَّةَ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ — الْمُنْبَعِثَةَ مِنْ جِسْمٍ سَاخِنٍ — عَلَى مِكْشَافٍ لِلْأَشِعَّةِ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ (أعلى). وَيُصْدِرُ الْمِكْشَافُ إِشَارَةً تَدُلُّ عَلَى كَمِّيَّةِ طَاقَةِ الإِشْعَاعِ (أعلى يسار). ثُمَّ يُحَوِّلُ حَاسِبٌ آلِيٌّ هَذِهِ الْإِشَارَاتِ إِلَى أَلْوَانٍ لِيَسْهُلَ رُؤْيَتُهَا (يسار) .

تِرْمُوجِرَام يَمْسَحُ عَرَبَةَ طُورْبِيد مَمْلُوءَةً بِالْحَدِيدِ الْمُنْصَهِرِ . وَيُحْمَلُ هَذَا الْحَدِيدُ مِن الْفُرْنِ اللَّافِحِ مُبَاشَرَةً إِلَى فُرْنٍ آخَرَ لِتَحْوِيلِهِ إِلَى حَدِيدٍ صُلْبٍ .

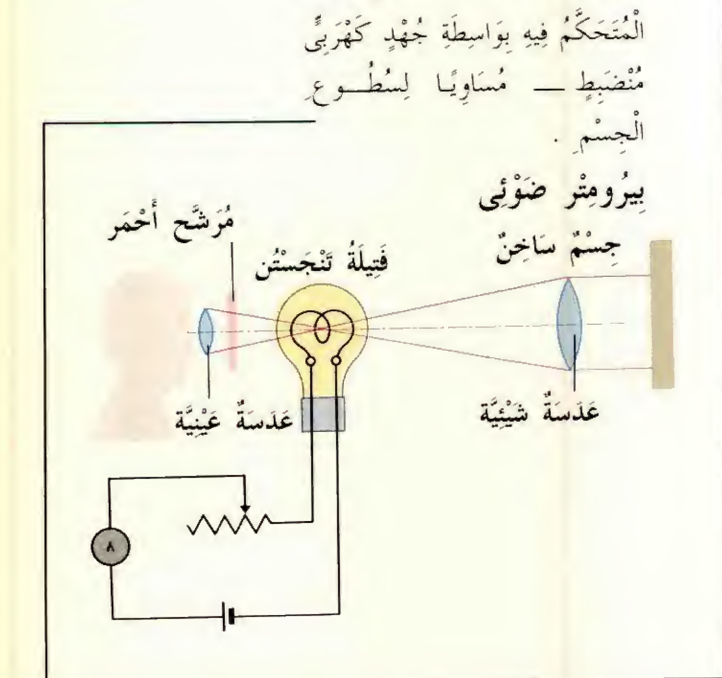
الْمَنْظَرُ الدَّاخِلِيُّ لحديد مُنْصَهِر

يُجَمِّعُ الْحَاسِبُ الْآلِي إِشَارَاتِ الْجُهدِ النَّاتِجِ مِن التِّرْمُوجِرام (يمين) فِي خَرِيطَةٍ مُشَفَّرَةٍ لِلْأَلْوانِ لِدَرَجَةِ حَرَارَةِ كُلِّ عَرَبَةِ طُورْبِيد (أسفل). وَمِفْتَاحُ الشَّفْرَة على الْيَمِين يَدُلُّ عَلَى أَنَّ الْأَزْرَقَ الْقَاتِمَ يُشِيرُ إِلَى أَسْخَنِ الْمَواضِعِ . وَتُبَيِّنُ الشَّاشَةُ الخَرِيطَةَ الحرارِيَّةَ لِأَرْبعِ عَرَبَاتٍ طُورْبِيدِيَّة .

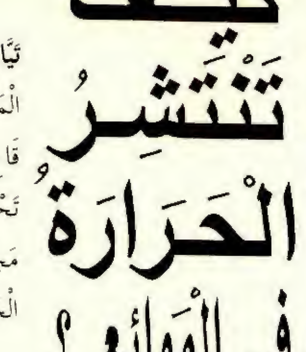


الضَّوْءُ الْمَرئِيُّ الصَّادِرُ مِن جِسْمٍ سَاخِنٍ يُرَكَّزُ عَلَى فَتِيلَةِ مِصْبَاحٍ كَهْرَبِيٍّ . وَتَظْهَرُ الْفَتِيلَةُ كَأَنَّهَا مُخْتَفِيَةٌ ، عِنْدَمَا يَكُونُ سُطُوعُهَا — الْمُتَحَكَّمُ فِيهِ بِوَاسِطَةِ جُهْدٍ كَهْرَبِيٍّ مُنْضَبِطٍ — مُسَاوِيًا لِسُطُوعِ الْجِسْمِ .

بِيرُومِتْر ضَوْئِى



كَيْــفَ تَنْتَشِـرُ الْحَـرَارَةُ فِى الْمَوَائِعِ ؟



تَسْخِينُ أَىِّ مَائِعٍ ، كَالْمَاءِ وَالْهَواءِ ، يَجْعَلُهُ يَتَمَدَّدُ فَيُصْبِحُ أَخفَّ . وَبِالْمِثْلِ ، فَإِنَّ تَبْرِيدَ الْمَائِعِ يَجْعَلُهُ يَنْكَمِشُ فَيُصْبِحُ أَثْقَلَ . وَالْجَمْعُ بَيْنَ هَذَيْنِ الْحَدَثَيْنِ الْفِيزْيَائِيَّيْنِ الْمُتَضَادَّيْنِ يُسَمَّى الْحَمْلَ ، وَهِىَ عَمَلِيَّةُ تَنْقُّلِ الْحَرَارَةِ خِلَالَ أَحْجَامٍ كَبِيرَةٍ مِنْ أَىِّ سَائِلٍ أَوْ غَازٍ .

وَعِنْدَ وَضْعِ إِنَاءٍ بِهِ مَاءٌ عَلَى مَوْقِدٍ (يسار)، فَإِنَّ الْمَاءَ فَوْقَ اللَّهَبِ يَمْتَصُّ طَاقَةً . وَهَذِهِ الطَّاقَةُ تُسَبِّبُ ابْتِعَادَ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ عَنْ بَعْضِهَا الْبَعْضِ ، فَيُصْبِحُ الْمَاءُ أَقَلَّ كَثَافَةً . فَيَرْتَفِعُ الْمَاءُ السَّاخِنُ (عمود برتقالى)، وَاللَّوْنُ الْقَاتِمُ فَوْقَ اللَّهَبِ فِى هَذا الرَّسْمِ يُوَضِّحُ ذَلِكَ . وَفِى نَفْسِ الْوَقْتِ فَإِنَّ الْمَاءَ الْبَارِدَ عِنْدَ السَّطْحِ (أسهُم حمْرَاء) — وَهُوَ أَثْقَلُ — يَهْبِطُ لِيَحِلَّ مَحِلَّ الْمَاءِ السَّاخِنِ . وَأَثْنَاءَ ارْتِفَاعِ الْمَاءِ السَّاخِنِ ، يَفْقِدُ بَعْضَ طَاقَتِهِ إِلَى الْمَاءِ الَّذِى يَمُرُّ خِلَالَهُ ، فَيَبْرُدُ قَلِيلًا . وَهَكَذَا يَسْتَمِرُّ الماءُ السَّاخِنُ فِى الصُّعُودِ ، وَالْمَاءُ الْبَارِدُ فِى الْهُبُوطِ . وَتَتَوَقَّفُ تَيَّارَاتُ الْحَمْلِ بَعْدَ إِطفَاءِ اللَّهَبِ ، وَوُصُولِ الْمَاءِ كُلِّهِ إِلَى دَرَجَةِ حَرَارَةٍ وَاحِدَةٍ .

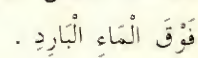
تَيَّارَاتُ الْحَمْلِ فِى الْمَاءِ

الْمَاءُ السَّاخِنُ يَفْقِدُ بَعْضَ حَرَارتِهِ عِنْدَمَا يَصْعَدُ مِنْ قَاعِ كَأْسٍ مُسَخَّنٍ إِلَى السَّطْحِ . وَيَكُونُ الْمَاءُ تَحْتَهُ أَسْخَنَ مِنْه ، فَيَدْفَعُهُ إِلَى الْجَانِبِ لِيَحِلَّ مَحِلَّهُ ، وَيَهْبِطُ الماءُ الْبَارِدُ الأَكْبَرُ كَثَافَةً ، مِن الْجَانِبِ لِأَسْفَلَ .

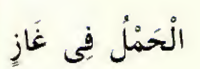


الْحَمْلُ بِالتَّسْخِينِ

تَسْخِينُ الْمَاءِ فِى أُنْبُوبِ اخْتِبَارٍ عِنْدَ قَاعِدَةِ الْأُنْبُوبِ (يسار) يُسَخِّنُ الماءُ ، فَيَرْتَفِعُ وَيَحِلُّ مَحِلَّهُ الْمَاءُ الْبَارِدُ الأَثْقَلُ ، لِيَسْخُنَ هُوَ أَيْضًا . وَفِى النِّهَايَةِ يَسْخُنُ كُلُّ الْمَاءِ . أَمَّا تَسْخِينُ الْمَاءِ بِالْقُرْبِ مِنْ سَطْحِهِ (أسفل) يُسَخِّنُ فَقَطْ الْمَاءُ عِنْدَ السَّطْحِ ، لِأَنَّ الْمَاءَ السَّاخِنَ الْأَخَفَّ سَيَظَلُّ عِنْدَ السَّطْحِ فَوْقَ الْمَاءِ الْبَارِدِ .







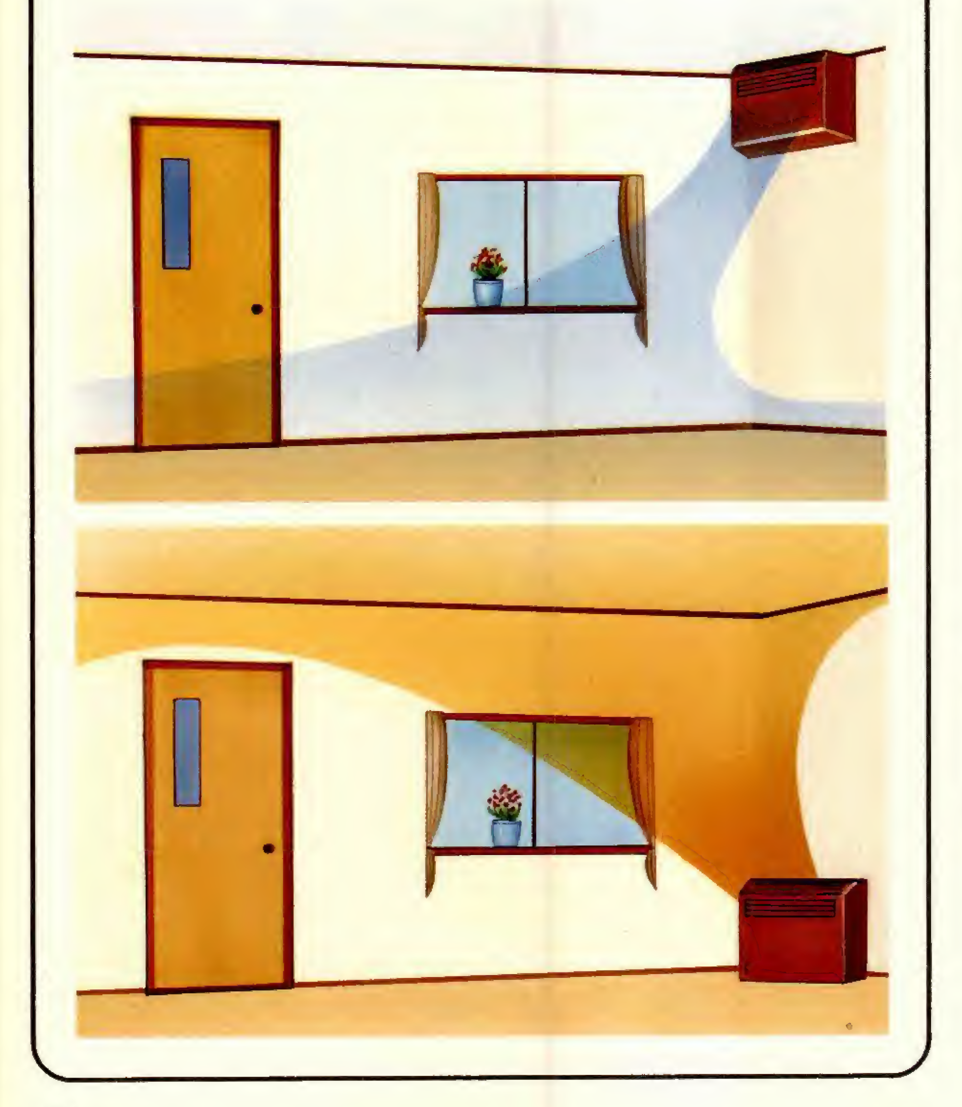
يُوضِّحُ الدُّخَانُ كَيْفَ تَتَكَوَّنُ تَيَّارَاتُ الْحَمْلِ فِى الْهَواءِ (أعلى). وَتَبْدَأُ الْعَمَلِيَّةُ (يمين) بِارْتِفَاعِ الْهَواءِ السَّاخِنِ فِى غُرْفَةٍ لِأَعْلَى . وَعِنْدَمَا يَصِلُ الْهَواءُ



السَّاخِنُ إِلَى السَّقْفِ (وسط) يَنْتَشِرُ إِلَى الْجَانِبَيْنِ نَتِيجَةَ دَفْعِ الْهَواءِ السَّاخِنِ الْمُتَصَاعِدِ . وَلأَنَّهُ يَفْقِدُ بَعْضَ حَرَارَتِهِ ، فَإِنَّهُ يَهْبِطُ ثَانِيَةً إِلَى الْأَرْضِ . ثُمَّ يُدْفَعُ إِلَى مَكَانِ اللَّهَبِ مَعَ تَيَّارَاتِ الْهَواءِ الْبَارِدِ (يسار) فَيَسْخُنُ وَيَرْتَفِعُ ثَانِيَةً ، وَهَكَذَا .

تَسْخِينُ وَتَبْرِيدُ غُرْفَةٍ

جِهَازُ تَكْيِيفِ الْهَواءِ يُبَرِّدُ غُرْفَةً بِكَفَاءَةٍ إِذَا كَانَ قَرِيبًا مِن السَّقْفِ (أسفل) ، لِأَنَّ الْهَواءَ الْبَارِدَ (أزرق) يَهْبِطُ ، وَيَنْتَشِرُ بِوَاسِطَةِ تَيَّارَاتِ الْحَمْلِ . وَبِالْمِثْلِ ، تَعْمَلُ الْمِدْفَأَةُ أَفْضَلَ حِينَ تُوضَعُ عَلَى الْأَرْضِ (أسفل) ، لِأَنَّ الْهَواءَ السَّاخِنَ (برتقالى) يَرْتَفِعُ وَيَدُورُ فِى الْحُجْرَةِ .





ماذا يجعل السُّتْرة الزَّغبيَّة بهذا الدِّفْء ؟

أَىُّ شَخْصٍ يَخْرُجُ فى طَقْسٍ بَارِدٍ دُونَ سُتْرَةٍ سَيَشْعُرُ بِقُشَعْرِيرَةٍ لِأَنَّ الْجِسْمَ يَفْقِدُ حَرَارَةً بِالتَّوْصِيلِ وَالْحَمْلِ إِلَى الْهَواءِ الْبَارِدِ . وَلكِنْ دَاخِلَ سُتْرَةٍ زَغَبِيَّةٍ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ الدَّافِئَ يَظَلُّ دَافِئًا . وَهَذَا لِأَنَّ الزَّغَبَ ــ وَهُوَ نَوْعٌ مِن الرِّيشِ الْعَازِلِ الَّذِى يُسَاعِدُ الإِوَزَّ وَالْبَطَّ عَلَى أَن تَظَلَّ دَافِئَةً أَثْنَاءَ طَفْوِهَا فِى الطَّقْسِ الْبَارِدِ ــ لَهُ تَرْكِيبٌ لايَسْمَحُ لِلْهَواءِ الْمُلَامِسِ لِلْجِسْمِ أَنْ يَتَحَرَّكَ مُبْتَعِدًا إِلَى الْهَواءِ الْأَبْرَدِ . وَمَادَامَ الْهَواءُ لَمْ يَتَحَرَّكْ ، فَإِنَّ حَرَارَةَ الْجِسْمِ لَنْ تَنْتَقِلَ بَعِيدًا عَنْه .

وَتَنْتَقِلُ الْحَرارَةُ عَادَةً مِن الْمِنْطَقَةِ السَّاخِنَةِ إِلَى الْمِنْطَقَةِ الْأَبْرَدِ . وَالجِسْمُ الدَّافِئُ يَفْقِدُ حَرَارَةً عِنْدَمَا تَسْتَمِدُّ جُزَيْئَاتُ الْهَواءِ طَاقَةً مِنْهُ ، فَتَزْدَادُ سُرْعَتُهَا وَتَبْتَعِدُ عَن الْجِلْدِ الدَّافِئِ . وَيَحْمِلُ كُلُّ جُزَيْءِ هَواءٍ قَدْرًا قَلِيلًا مِن الطَّاقَةِ . وَكُلَّمَا زَادَت الطَّاقَةُ الَّتِى تَأْخُذُهَا الْجُزَيْئَاتُ ، زَادَ شُعُورُ الشَّخْصِ بِالْبُرُودَةِ .

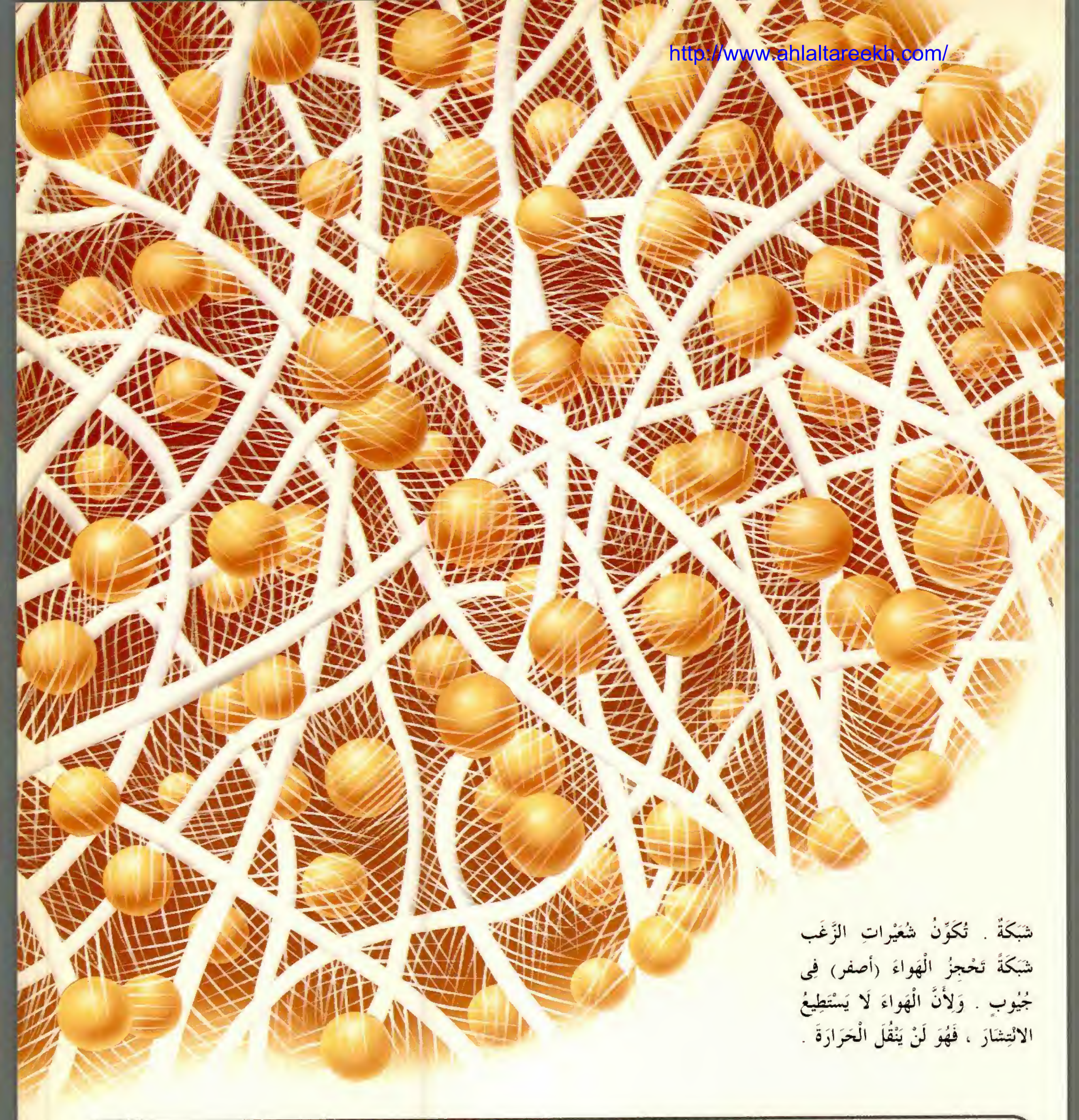
وَالزَّغَبُ يُبْطِئُ فَقْدَ الْحَرارَةِ بِفَعَالِيَةٍ لِأَنَّهُ يَتَدَخَّلُ فِى عَمَلِيَّةِ الْحَمْلِ . فَلِكُلِّ رِيشَةٍ زَغَبِيَّةٍ آلافُ الشُّعَيْرَاتِ الدَّقِيقَةِ . وَتَتَدَاخَلُ الشُّعَيْرَاتُ الدَّقِيقَةُ لِلرِّيشِ الْمُتَجَاوِرِ مُكَوِّنَةً شَبَكَةً دَقِيقَةً تَعُوقُ حَرَكَةَ الْهَوَاءِ . وَبِتَقْلِيلِ حَرَكَةِ الْهَواءِ ، تَقِلُّ بِالتَّالِى عَمَلِيَّةُ حَمْلِ الْحَرَارَةِ ، وَيَظَلُّ الْجِسْمُ دَافِئًا .



كَيْفَ تَعْزِلُ السُّتْرَةُ الزَّغَبِيَّةُ الْحَرَارَةَ

الرِّيشُ الصَّغِيرُ أَو الزَّغَبُ ، الَّذِى يَمْلَأُ هَذِهِ السُّتْرَةَ يَتَكَوَّنُ مِنْ آلافِ الشُّعَيْرَاتِ الدَّقِيقَةِ الَّتِى تَنْمُو مِنْ شَعَرَاتٍ مَرِنَةٍ (يسار). وَهَذا التَّرْكِيبُ يَمْنَعُ من التَكَدُّسِ عَلَى بَعْضِهِ ، فَلَا يَفْقِدُ قُدْرَتَهُ على الْعَزْلِ الْحَرارِىِّ .

الرِّيشُ . الْإِوَزَّةُ لَهَا رِيشٌ زَغَبِىٌّ (يمين) يَحْفَظُهَا دَافِئَةً ، وَرِيشٌ نِصْفِىٌّ (وسط) يُسَاعِدُها عَلَى الطَّفْوِ ، وَرِيشٌ كَفَافِىٌّ (يسار) يُغَطِّى الْجِسْمَ مِن الْخَارِجِ .



شَبَكَةٌ . تُكَوِّنُ شُعَيْراتِ الزَّغَب شَبَكَةً تَحْجِزُ الْهَواءَ (أصفر) فِي جُيُوبٍ . وَلِأَنَّ الْهَواءَ لَا يَسْتَطِيعُ الانْتِشَارَ ، فَهُوَ لَنْ يَنْقُلَ الْحَرارَةَ .

الْمُوصِّلِيَّةُ الْحَرارِيَّةُ تَقِيسُ كَيْفَ تَسْرِي الْحَرارَةُ خِلَالَ مَادَّةٍ . وَالْمُوصِّلِيَّةُ الْحَرارِيَّةُ لِلزَّغَبِ مُنْخَفِضَةٌ (٢,١) وَيَعْزِلُ جَيِّدًا ، وَكَذَلِكَ الْهَوَاءُ (الجدول). وعلى الْعَكْسِ ، فَالْحَدِيدُ جَيِّدُ التَّوْصِيلِ لِلْحَرَارَةِ وَهُوَ عَازِلٌ رَدِيءٌ .

داخل
خارج

الزَّغَبُ يُقَلِّلُ حَرَكَةَ الْهَوَاءِ (الأسهم)، فَيَحْفَظُ الْحَرَارَةَ ، وَيَمْنَعُ الْبَرْدَ .

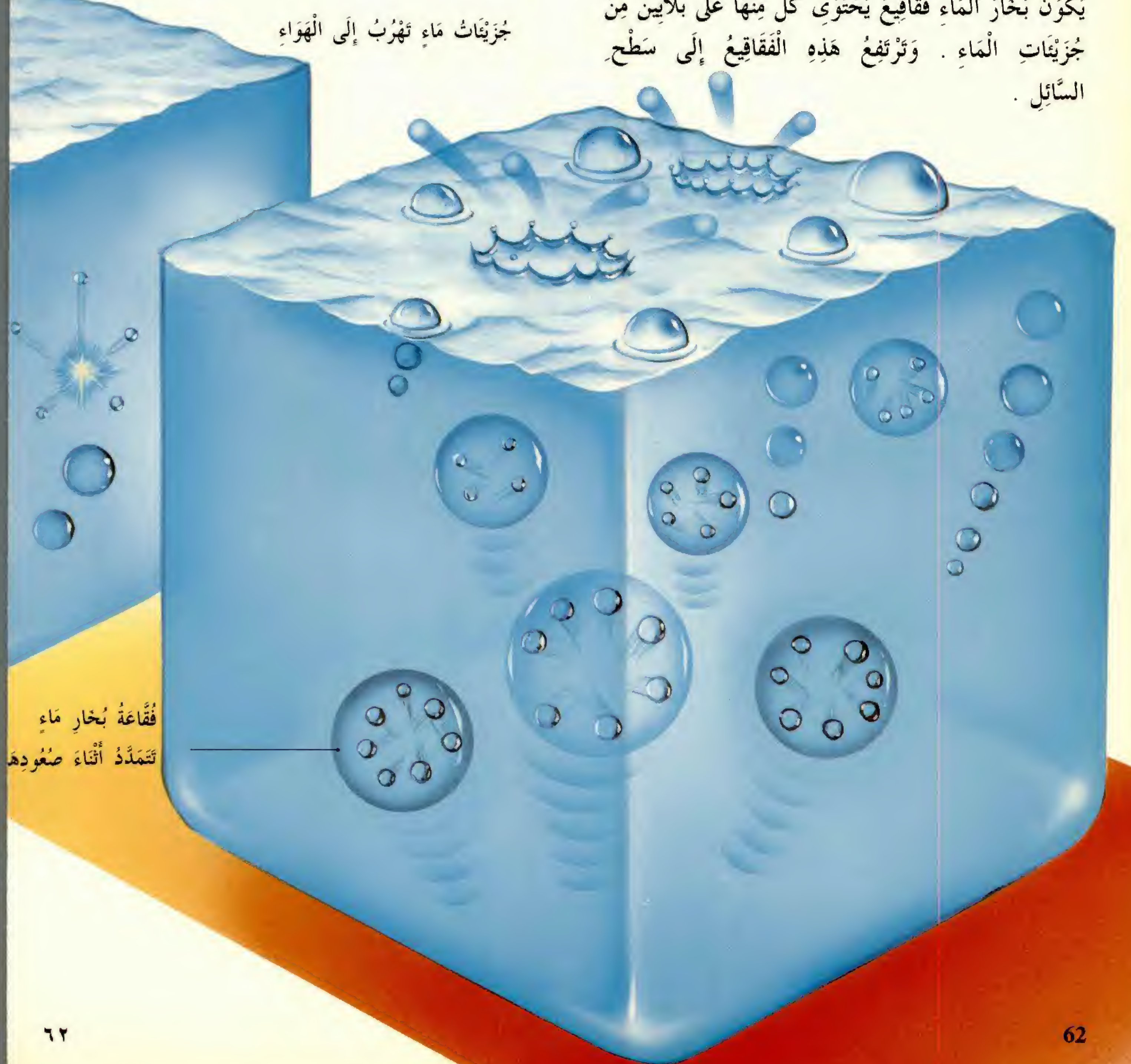
الْمُوَصِّلِيَّةُ الْحَرَارِيَّةُ

	وحدة الموصلية ٢ ٤ ٦ ٨
هواء	٢,٤
قطن	٤
صوف	٤
ورق	٦
بوليسترين	٨
حديد	٧٢٠٠

لماذا يخرج الماء فقاقيع وهو يغلى ؟

إذَا سُخِّنَ أَىُّ سَائِلٍ ، فَإِنَّهُ يَصِلُ فِى النِّهَايَةِ إِلَى دَرَجَةِ حَرَارَةٍ يَبْدَأُ عِنْدَهَا الْغَلَيَانُ . فَتَتَكَوَّنُ فَقَاقِيعُ دَاخِلَ السَّائِلِ ، ثُمَّ تَرْتَفِعُ إِلَى السَّطْحِ وَتَنْفَجِرُ مُخْرِجَةً بُخَارًا سَاخِنًا فِى الْهَوَاءِ . وَيَغْلِى الماءُ عِنْدَ ١٠٠°م (٢١٢°ف) وَعِنْدَ دَرَجَةِ الْغَلَيَانِ ، يَكْتَسِبُ كُلُّ جُزَىْءٍ طَاقَةً كَافِيَةً لِلتَّغَلُّبِ عَلَى الْقُوَى الَّتِى تَرْبِطُهُ بِالْجُزَيْئَاتِ الْأُخْرَى عَلَى صُورَةِ سَائِلٍ . فَمَثَلًا إناءٌ بِهِ مَاءٌ يَغْلِى يَكُونُ مَمْلُوءًا بِمَاءٍ سَائِلٍ يَتَحَوَّلُ إِلَى بُخَارِ مَاءٍ . وَعِنْدَ السَّطْحِ ، يَهْرُبُ بُخَارُ الْمَاءِ مِن الْمَاءِ الَّذِى يَغْلِى . وَتَحْتَ السَّطْحِ ، يُكَوِّنُ بُخَارُ الْمَاءِ فَقَاقِيعَ يَحْتَوِى كُلٌّ مِنْهَا على بَلَايِينَ مِنْ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ . وَتَرْتَفِعُ هَذِهِ الْفَقَاقِيعُ إِلَى سَطْحِ السَّائِلِ .

وَالْمَاءُ الَّذِى يَغْلِى يَمُرُّ بِتَغَيُّرٍ فِى الْحَالَةِ ، مِن الْحَالَةِ السَّائِلَةِ إِلَى الْغَازِيَّةِ بِعَمَلِيَّةٍ تُسَمَّى التَّبَخُّرَ وَيُمْكِنُ أَنْ تَتَبَخَّرَ السَّوائِلُ عِنْدَ دَرَجَاتِ حرارةٍ أَقَلَّ مِن دَرجَةِ الْغَلَيانِ ، فى عَمَلِيَّةٍ تُسَمَّى الْبَخْرَ . وَلَكِنَّ الْبَخْرَ يَحْدُثُ فَقَطْ عِنْدَ السَّطْحِ ، حيث تَكُونُ طَاقَةُ الْجُزَيْئَاتِ كَافِيَةً لِهُروبِهَا مِن الْحَالَةِ السَّائِلَةِ . وَرَغْمَ أَنَّ الْبَخْرَ يَحْدُثُ أَسْرَعَ كُلَّما كَانَتْ دَرَجَاتُ الْحَرَارَةِ أَعْلَى ، إِلَّا أَنَّ الْغَلَيَانَ فَقَطْ هُوَ الَّذِى يُكَوِّنُ فَقَاقِيعَ .



حَياةُ وَمَوْتُ الْفَقَاقِيعِ

١ — يَحْتَوِى الْمَاءُ عَلَى هَوَاءٍ مُذَابٍ أَوْ مَحْجُوزٍ فِيه مُلْتَصِقًا بِدَقَائِقِ التُّرَابِ (يمين) وَبِارْتِفَاعِ دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْمَاءِ ، فَإِنَّ الْهَوَاءَ الْمَحْجُوزَ يُصْبِحُ ذَوَبَانًا . وَتَتَكَوَّنُ فَقَاقِيعُ هَوَاءٍ صَغِيرَةٌ ، يَهْرُبُ مُعْظَمُهَا بِسُرْعَةٍ إِلَى الْهَوَاءِ . وَخُرُوجُ هَذِهِ الْفُقَّاعَاتِ لَيْسَ غَلَيَانًا .



٢ — وَبِاقْتِرَابِ الْمَاءِ مِنْ نُقْطَةِ الْغَلَيَانِ ، تَتَكَوَّنُ فَقَاقِيعُ بُخَارِ مَاءٍ تَتَجَمَّعُ حَوْلَ التُّرَابِ أَو الشَّوَائِبِ الْأُخْرَى . وَفِى هَذِهِ الْفُقَّاعَاتِ ، تَزِيدُ دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ عن نُقْطَةِ الْغَلَيَانِ .

٣ — وَيَدْخُلُ بُخَارُ مَاءٍ أَكْثَر فِى الْفُقَّاعَاتِ الْأُولَى . وَلَكِنْ لِأَنَّ الْمَاءَ الْمُحِيطَ مَازَالَ بَارِدًا ، فَإِنَّ هَذِهِ الْفُقَّاعَاتِ تَنْكَمِشُ وَهِىَ صَاعِدَةٌ ، وتَتَقَوَّضُ قَبْلَ أَنْ تَصِلَ إِلَى السَّطْحِ .

٤ — تَتَكَوَّنُ فُقَّاعَاتٌ فِى أَىِّ أَجْزَاءِ الْمَاءِ الَّذِى يَغْلِى . وَتَكْبُرُ هَذِهِ الْفُقَّاعَاتُ عِنْدَ صُعُودِهَا إِلَى السَّطْحِ ، حَيْثُ تَنْفَجِرُ . وَيَهْرُبُ مِنْهَا بُخَارُ الْمَاءِ إِلَى الْجَوِّ .

حَجَرٌ لِمَنْعِ الْفَوَرَانِ

الْمَاءُ الْمُقَطَّرُ والسَّوَائِلُ النَّقِيَّةُ الْمُسْتَخْدَمَةُ فِى الْمَعَامِلِ ، لَا تُوَفِّرُ مَكَانًا لِتَكَوُّنِ الْفُقَّاعَاتِ نَظَرًا لِخُلُوِّهَا مِن الْأَتْرِبَةِ والشَّوَائِبِ . وَفِى مِثْلِ هَذِهِ السَّوَائِلِ ، قَدْ يَتَكَوَّنُ لَوْحٌ كَبِيرٌ مِنْ فُقَّاعَاتِ الْبُخَارِ ، يَقْذِفُ السَّائِلَ الَّذِى يَغْلِى إِلَى خَارِجِ الْإِنَاءِ فِى فَوَرَانٍ خَطِيرٍ . وَلِمَنع هذَا الْفَوَرَانِ ، يُوضَعُ فِى السَّائِلِ حَجَرٌ بِهِ بِضْعَةُ ثُقُوبٍ دَقِيقَةٍ (يسار) حَيْثُ تَتَوَفَّر مَرَاكِزُ لِتَكَوُّنِ الْفُقَّاعَاتِ تَدْرِيجِيًّا .

لماذا لا يحترق الجلد فى حمام الهواء الساخن (السونا) ؟

فى حمام السونا يدفئ الهواء الساخن الجاف الجلد فى الحال ولكنه لا يحرقه . ودرجة الحرارة فى هذا الحمام تقترب من ١٠٠°م ، وهى درجة غليان الماء عند مستوى سطح البحر ، ولذلك تبدو الحرارة كافية لحرق الجلد . وفى الحقيقة ، فإن سقوط ماء يغلى على الجلد يحرقه . ولكن السونا ممارسة سارة وغير خطرة . والسبب فى سلامة السونا ، هو أن الهواء داخلها به قدر ضئيل جدًا من الرطوبة . ويسخن الجلد لاصطدام جزيئات الهواء النشيطة به ، فتنقل إليه الطاقة وترفع درجة حرارة الجلد . ولكن الجلد عندما يسخن ، فإنه يبدأ فى العرق ، وهذه آلية الجسم للاحتفاظ بدرجة حرارة آمنة . ويتبخر العرق بسرعة فى هواء السونا الجاف آخذًا معه طاقة حرارية . وإذا كان هواء السونا رطبًا ، لما عرق الجلد بدرجة كافية ، وكان احتمال حرق الجلد كبيرًا .

وتنطبق نفس النظرية عندما يلامس الجلد ماء يغلى . فعند التلامس المباشر بين جزيئات الماء الساخن النشطة والجلد ، فإن الجلد لا يتمكن من العرق فلا يبرد . وترتفع درجة حرارته بسرعة ، ويحترق الجلد .



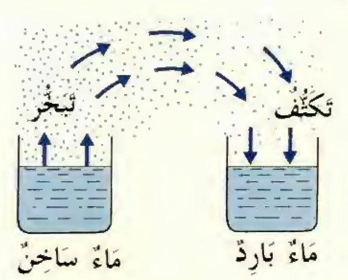
بخار الماء وبخار العرق

عندما يكون الجلد أبرد من هواء السونا ، فإن بخار الماء فى السونا (أسهم زرقاء) يتكثف على الجلد ويكتسب الجلد حرارة . وإذا اكتسب الجلد حرارة كثيرة جدًا ، فإنه يعرق . والعرق المتبخر (أسهم أرجوانية) من الجلد يبرده . والاتزان بين هاتين العمليتين ، يحمى الجلد .



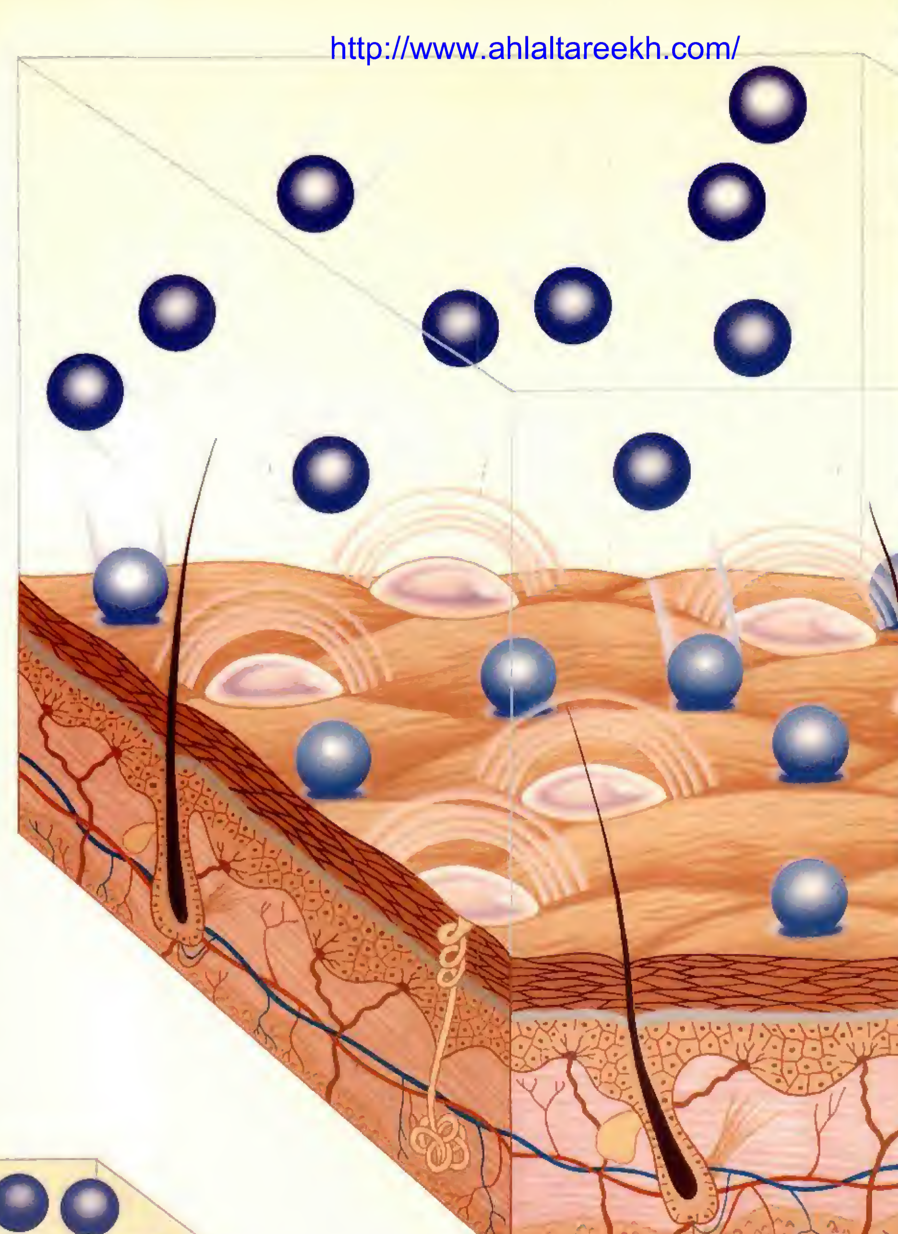
كيف ينقل بخار الماء الحرارة

عند وضع كأس بها ماء ساخن بجوار كأس بها ماء بارد ، يتبخر الماء الساخن ، ويفقد حرارة أثناء ذلك ، وتتحرر جزيئات كثيرة من بخار الماء . ويتحرك بعضها إلى المواضع التى يوجد بها قلة من جزيئات بخار الماء ، فوق البارد . فتتكثف عندما تقابل الماء البارد . وهذه العملية ، تضيف طاقة إلى الماء البارد ، فترتفع درجة حرارته . ويستمر ذلك ، حتى يصبح الماء فى الكأسين عند درجة حرارة واحدة .



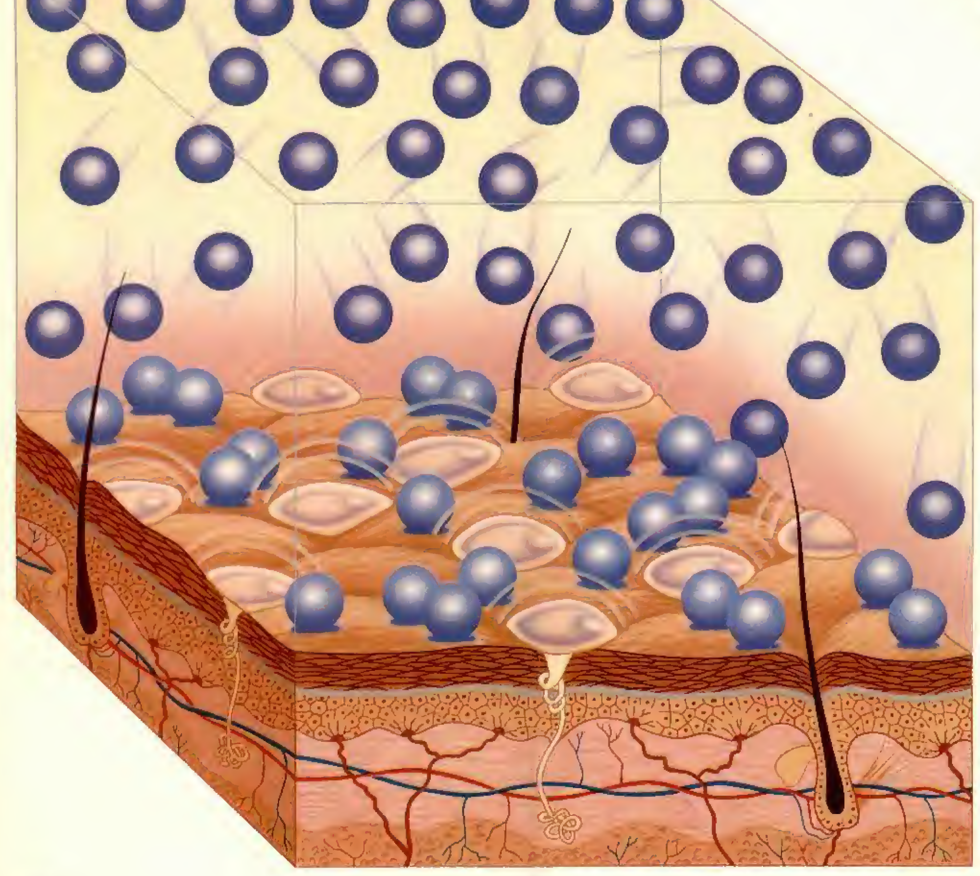
كَيْفَ تَحْمِى الرُّطُوبَةُ الْمُنْخَفِضَةُ الْجِلْدَ

عِنْدَمَا تَكُونُ رُطُوبَةُ السَّونَا مُنْخَفِضَةً (يمين) فَإِنَّ الْجِلْدَ يُمْكِنُه أَن يُحَافِظَ عَلَى دَرَجَةِ حَرَارَةٍ آمِنَةٍ ، وَيَتَجَنَّبُ الْحَرْقَ . فَفِى هَذِهِ الظُّرُوفِ ، يَكُونُ عَدَدُ جُزَيْئَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ النَّشِيطَةِ قَلِيلًا (كُرَاتٌ زَرْقَاء)، وَهِىَ فَقَطْ الْقَادِرَةُ عَلَى الاصْطِدَامِ بِالْجِلْدِ ، وَالتَّكَثُّفِ عَلَيْهِ ، نَاقِلَةً إِلَيْهِ طَاقَةً حَرَارِيَّةً . وَهَكَذَا يَمْتَصُّ الْجِلْدُ طَاقَةً حَرَارِيَّةً قَلِيلَةً نِسْبِيًّا مِنْ هَوَاءِ السَّونَا السَّاخِنِ الْجَافِّ . كَمَا أَنَّ الرُّطُوبَةَ الْقَلِيلَةَ ، تُسَاعِدُ الْجِسْمَ عَلَى فَقْدِ مَزِيدٍ مِن الْحَرَارَةِ عَنْ طَرِيقِ الْعَرَقِ . وَعِنْدَمَا يَتَبَخَّرُ الْعَرَقُ مِنْ سَطْحِ الْجِلْدِ ، فَإِنَّ جُزَيْئَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ تَأْخُذُ طَاقَةً حَرَارِيَّةً مَعَها ، فَيَبْرُدُ الْجِلْدُ .



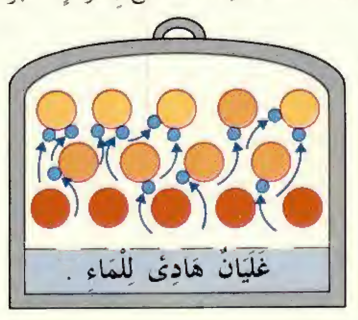
كَيْف تَحرِقُ الرُّطُوبَةُ الْعَالِيَةُ الْجِلْدَ

إِذَا كَانَ هَوَاءُ السَّونَا عَالِى الرُّطُوبَةِ (أسفل)، فَإِنَّ الْجِلْدَ قَدْ يُوَاجِهُ مُشْكِلَاتٍ فِى تَنْظِيمِ دَرَجَةِ حَرَارَتِه فَيَتَعَرَّضُ لِلْحَرْقِ . فَفِى هَذِهِ الظُّرُوفِ ، يَصْطَدِمُ بِالْجِلْدِ كَثِيرٌ مِنْ جُزَيْئَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ النَّشِيطَةِ ، وَتَنْقُلُ طَاقَةً إِلَيْهِ . وَهَكَذَا يَكْتَسِبُ الْجِلْدُ حَرَارَةً بِسُرْعَةٍ فِى السَّوْنَا الرَّطِبَةِ أَكْثَرَ مِنْهَا فِى السَّوْنَا الْجَافَّةِ . وَفِى هَذَا الْوَسطِ الْأَكْثَرِ رُطُوبَةٍ ، لَا يَتَمَكَّنُ الْجِلْدُ مِن الْعَرَقِ بِسُرْعَةٍ ، وَيَظَلُّ الْجِلْدُ سَاخِنًا مُدَّةً أَطْوَلَ ، فَيَحْتَرِقُ .



تَسْخِينُ الطَّعَامِ فِى مِبْخَرَة

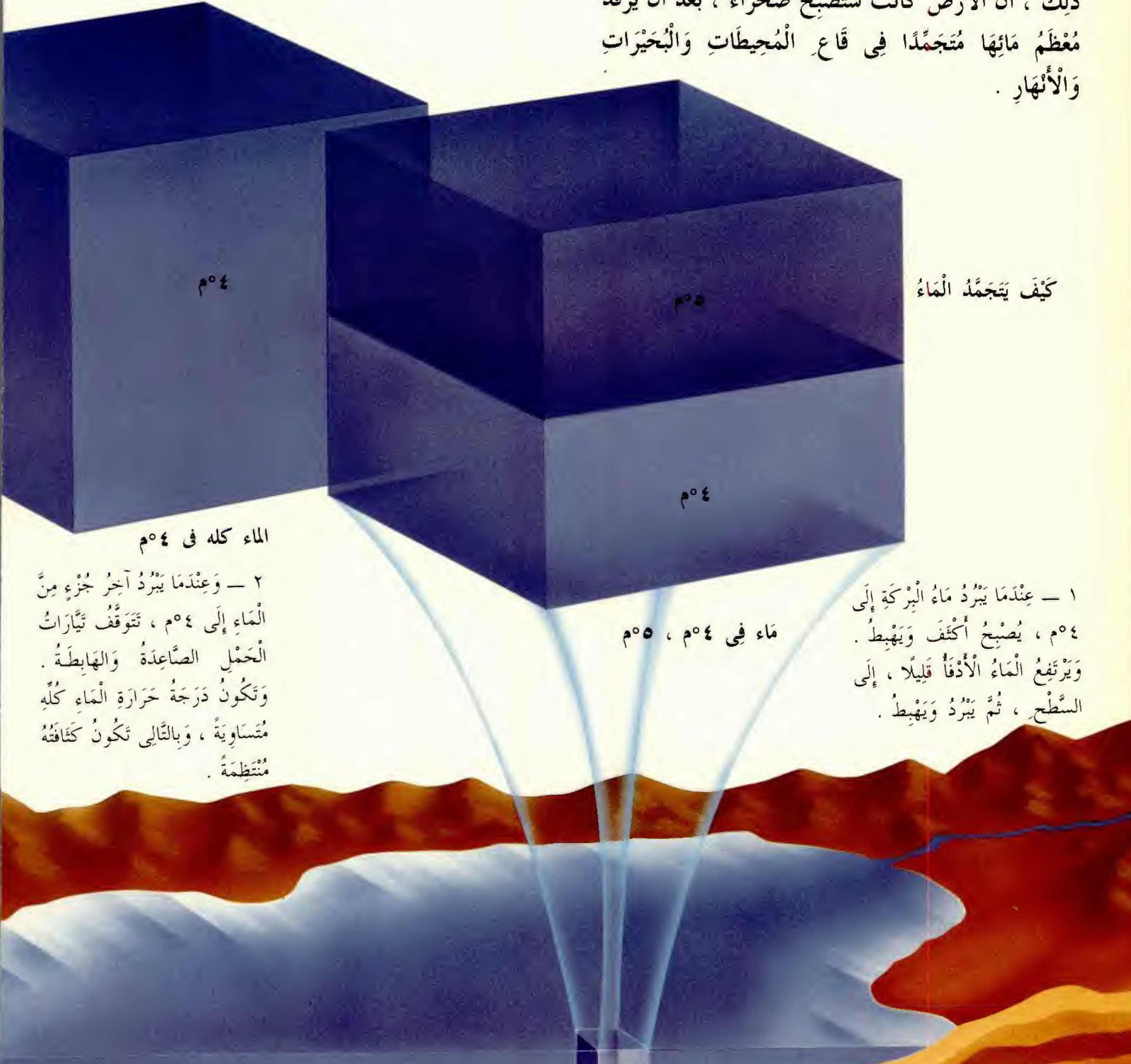
يُسَخَّنُ الطَّعَامُ فِى مِبْخَرَةٍ (أسفل) لِأَنَّ بُخَارَ الْمَاءِ السَّاخِنِ يُمْكِنُه أَنْ يَصِلَ إِلَى الطَّعَامِ مِن جَمِيعِ الْجَوَانِبِ ، وَيَتَكَثَّفُ فَقَطْ عَلَى الْأَجْسَامِ الْأَبْرَدِ مِن الْبُخَارِ . وَكُلَّمَا كَانَ الْجِسْمُ أَبْرَدَ ، زَادَ الْبُخَارُ الْمُتَكَثِّفُ عَلَيْهِ ، فَسَخُنَ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ .



لماذا يتجمد الماء من أعلى ؟

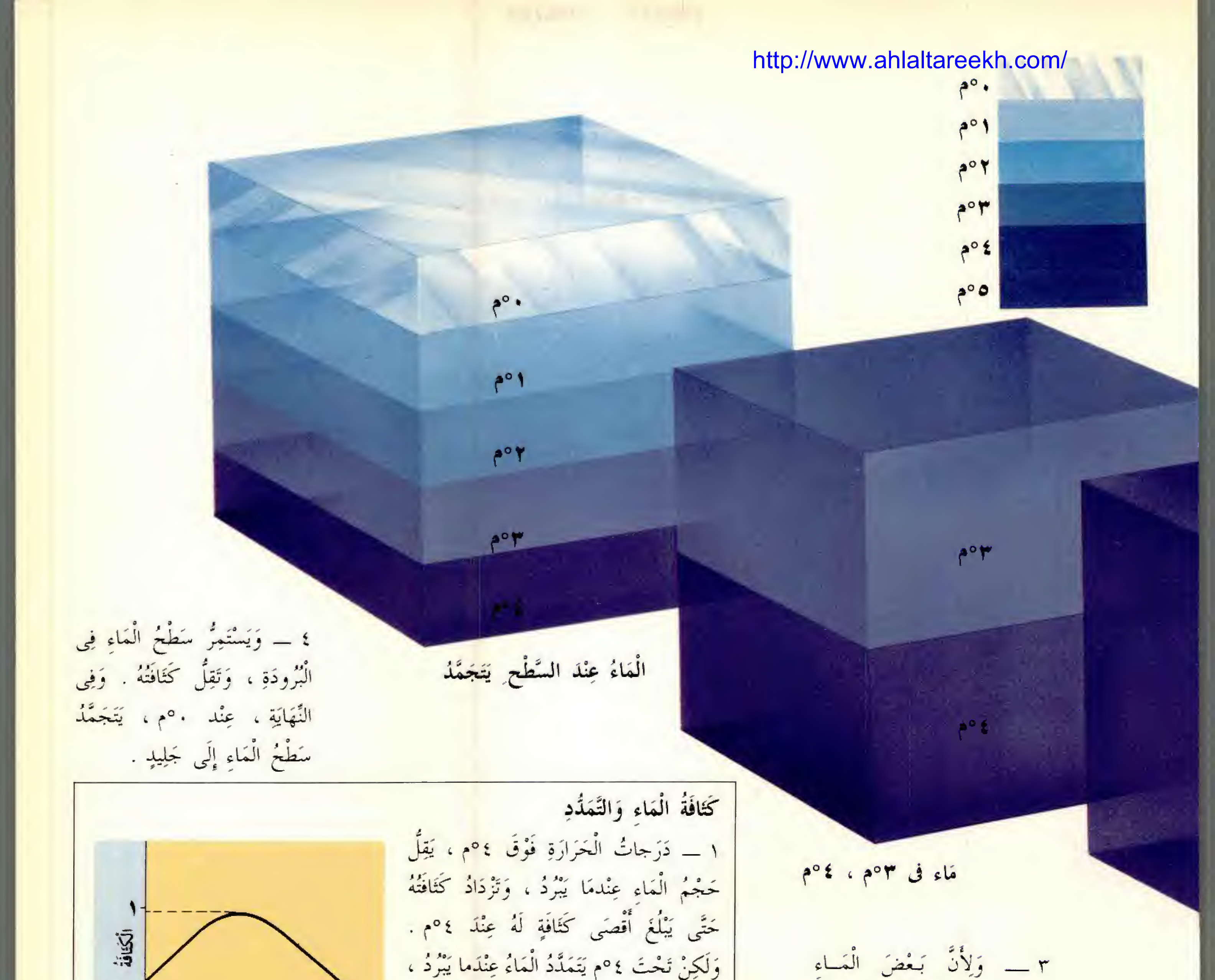
مِنْ عَلَامَاتِ الشِّتَاءِ فِى الْمَنَاطِقِ الْبَارِدَةِ ، ظُهُورُ جَلِيدٍ طَافٍ عَلَى الْبِرَكِ وَالْبُحَيْرَاتِ . وَقَدْ يَبْدُو ذَلِكَ عَادِيًّا أَوْ غَيْرَ هَامٍّ ، وَلَكِنْ لَوْ كَانَ الْمَاءُ مِثْلَ بَاقِى السَّوَائِلِ ، لَمَا تَمَكَّنَ النَّاسُ مِنْ الانْزِلَاقِ فَوْقَ سَطْحِ الْجَلِيدِ ، لِأَنَّ الْجَلِيدَ سَيَغُوصُ إِلَى الْقَاعِ بِمُجَرَّدِ تَكَوُّنِهِ . وَالْأَسْوَأُ مِنْ ذَلِكَ ، أَنَّ الْأَرْضَ كَانَتْ سَتُصْبِحُ صَحْرَاءَ ، بَعْدَ أَنْ يَرْقُدَ مُعْظَمُ مَائِهَا مُتَجَمِّدًا فِى قَاعِ الْمُحِيطَاتِ وَالْبُحَيْرَاتِ وَالْأَنْهَارِ .

وَتَنْكَمِشُ مُعْظَمُ السَّوَائِلِ عِنْدَمَا تَبْرُدُ فَيَقِلُّ حَجْمُهَا وَتَزْدَادُ كَثَافَتُهَا . فَالشَّمْعُ الْجَامِدُ ـــ مَثَلًا ـــ يَغُوصُ فِى قَاعِ إِنَاءٍ بِهِ شَمْعٌ مُنْصَهِرٌ . وَيَنْكَمِشُ الْمَاءُ أَيْضًا ، وَلَكِنْ يَحْدُثُ ذَلِكَ فَقَطْ حَتَّى تَصِلَ دَرَجَةُ حَرَارَتِهِ إِلَى ٤°م (٣٩°ف). وَتَحْتَ هَذِهِ الدَّرَجَةِ يَبْدَأُ فِى التَّمَدُّدِ وَتَقِلُّ كَثَافَتُه . وَلِذَلِكَ يَكُونُ الْجَلِيدُ أَقَلَّ كَثَافَةً مِن الْمَاءِ الْقَرِيبِ لِلتَّجَمُّدِ ، فَيَطْفُو . سُبْحَانَ اللهِ خَالِقِ كُلِّ شَيْءٍ بِقَدَرٍ .



١ ـــ عِنْدَمَا يَبْرُدُ مَاءُ الْبِرْكَةِ إِلَى ٤°م ، يُصْبِحُ أَكْثَفَ وَيَهْبِطُ . وَيَرْتَفِعُ الْمَاءُ الْأَدْفَأُ قَلِيلًا ، إِلَى السَّطْحِ ، ثُمَّ يَبْرُدُ وَيَهْبِطُ .

٢ ـــ وَعِنْدَمَا يَبْرُدُ آخِرُ جُزْءٍ مِنَّ الْمَاءِ إِلَى ٤°م ، تَتَوَقَّفُ تَيَّارَاتُ الْحَمْلِ الصَّاعِدَةُ وَالْهَابِطَةُ . وَتَكُونُ دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْمَاءِ كُلِّهِ مُتَسَاوِيَةً ، وَبِالتَّالِى تَكُونُ كَثَافَتُهُ مُنْتَظِمَةً .



الْمَاءُ عِنْدَ السَّطْحِ يَتَجَمَّدُ

٤ ـــ وَيَسْتَمِرُّ سَطْحُ الْمَاءِ فِى الْبُرُودَةِ ، وَتَقِلُّ كَثَافَتُهُ . وَفِى النِّهَايَةِ ، عِنْدَ ٠°م ، يَتَجَمَّدُ سَطْحُ الْمَاءِ إِلَى جَلِيدٍ .

مَاء فى ٣°م ، ٤°م

٣ ـــ وَلِأَنَّ بَعْضَ الْمَاءِ السَّطْحِىِّ ، يَبْرُدُ أَقَلَّ مِنْ ٤°م ، فَإِنَّهُ يَتَمَدَّدُ وَتَقِلُّ كَثَافَتُهُ . وَيَظَلُّ عَلَى سَطْحِ الْمَاءِ لِأَنَّهُ أَخَفُّ مِن الْمَاءِ ذِى دَرَجَةِ حَرَارَةِ ٤°م .

كَثَافَةُ الْمَاءِ وَالتَّمَدُّدِ

١ ـــ دَرَجاتُ الْحَرَارَةِ فَوْقَ ٤°م ، يَقِلُّ حَجْمُ الْمَاءِ عِنْدَمَا يَبْرُدُ ، وَتَزْدَادُ كَثَافَتُهُ حَتَّى يَبْلُغَ أَقْصَى كَثَافَةٍ لَهُ عِنْدَ ٤°م . وَلَكِنْ تَحْتَ ٤°م يَتَمَدَّدُ الْمَاءُ عِنْدَما يَبْرُدُ ، فَتَقِلُّ كَثَافَتُه . وَتُقَاسُ الْكَثَافَةُ بِقِسْمَةِ الْكُتْلَةِ عَلَى الْحَجْمِ ، أَوْ بِوَحْدَاتِ جم / سم^3 .

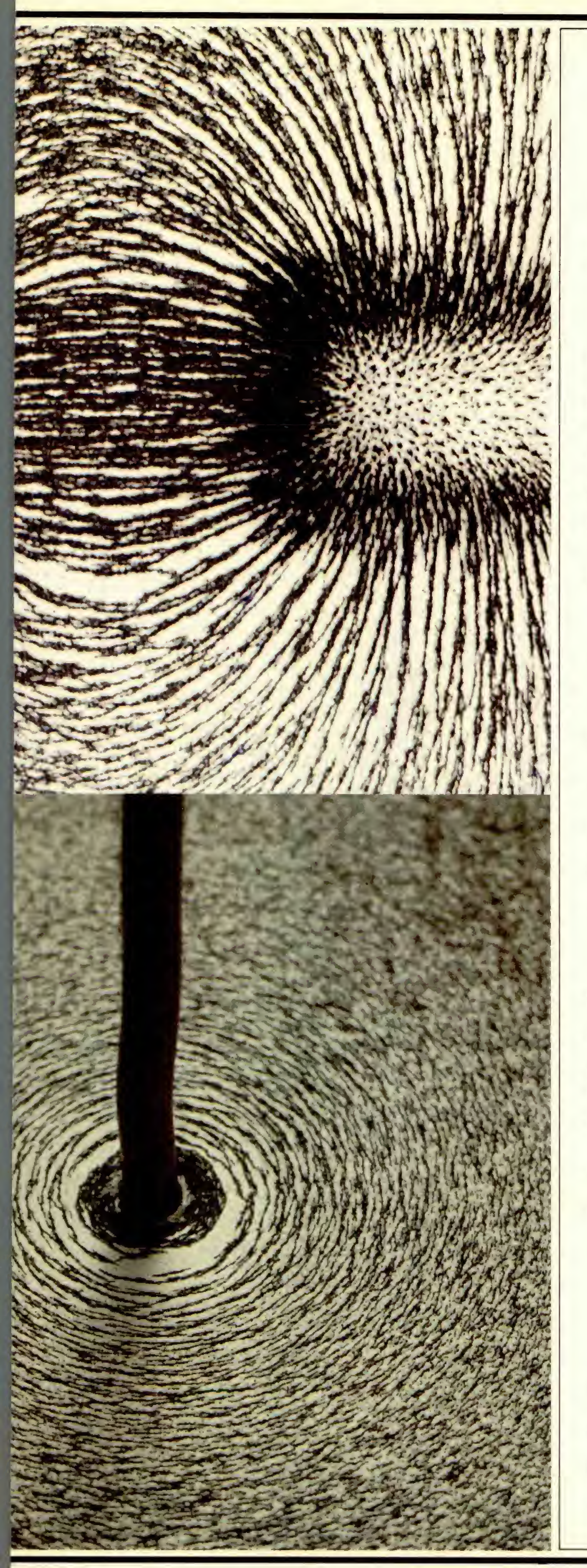
تَجَمُّدُ الشَّمْعِ مُخْتَلِفٌ عَنْ تَجَمُّدِ الْجَلِيد

تَتَكَوَّنُ حَدَبَةٌ عَلَى مُكَعَّبِ الْجَلِيدِ (أسفل يمين)، لِأَنَّ الْمَاءَ الَّذِى فِى الْمُنْتَصَفِ يَتَجَمَّدُ مُؤَخَّرا ، وَيَزْدَادُ حَجْمُهُ فَيَرْتَفِعُ . أَمَّا فِى كُتْلَةِ الشَّمْعِ فَيَتَكَوَّنُ فِى مُنْتَصَفِهَا حُفْرَةٌ (وسط) لِأَنَّ الشَّمْعَ يَقِلُّ حَجْمُهُ عِنْدَمَا يَتَجَمَّدُ . أَمَّا السَّوَائِلُ الَّتِى تَنْكَمِشُ بِانْتِظَامٍ أَثْنَاءَ تَجَمُّدِهَا (أسفل يسار) فَإِنَّهَا تُكَوِّنُ سَطْحًا مُقَعَّرًا .

يَقِلُّ حَجْمُ الشَّمْعِ عِنْدَمَا يَتَجَمَّدُ

دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْبُحَيْرَةِ وَالْفُصُول

فِى الصَّيْفِ ، يَكُونُ مَاءُ السَّطْحِ أَدْفَأَ مِنْ الْقَاعِ . وَفِى الشِّتَاءِ ، قَدْ يَتَجَمَّد السَّطْحُ ، وَلَكِنَّ الْقَاعَ يَكُونُ أَدْفَأَ .



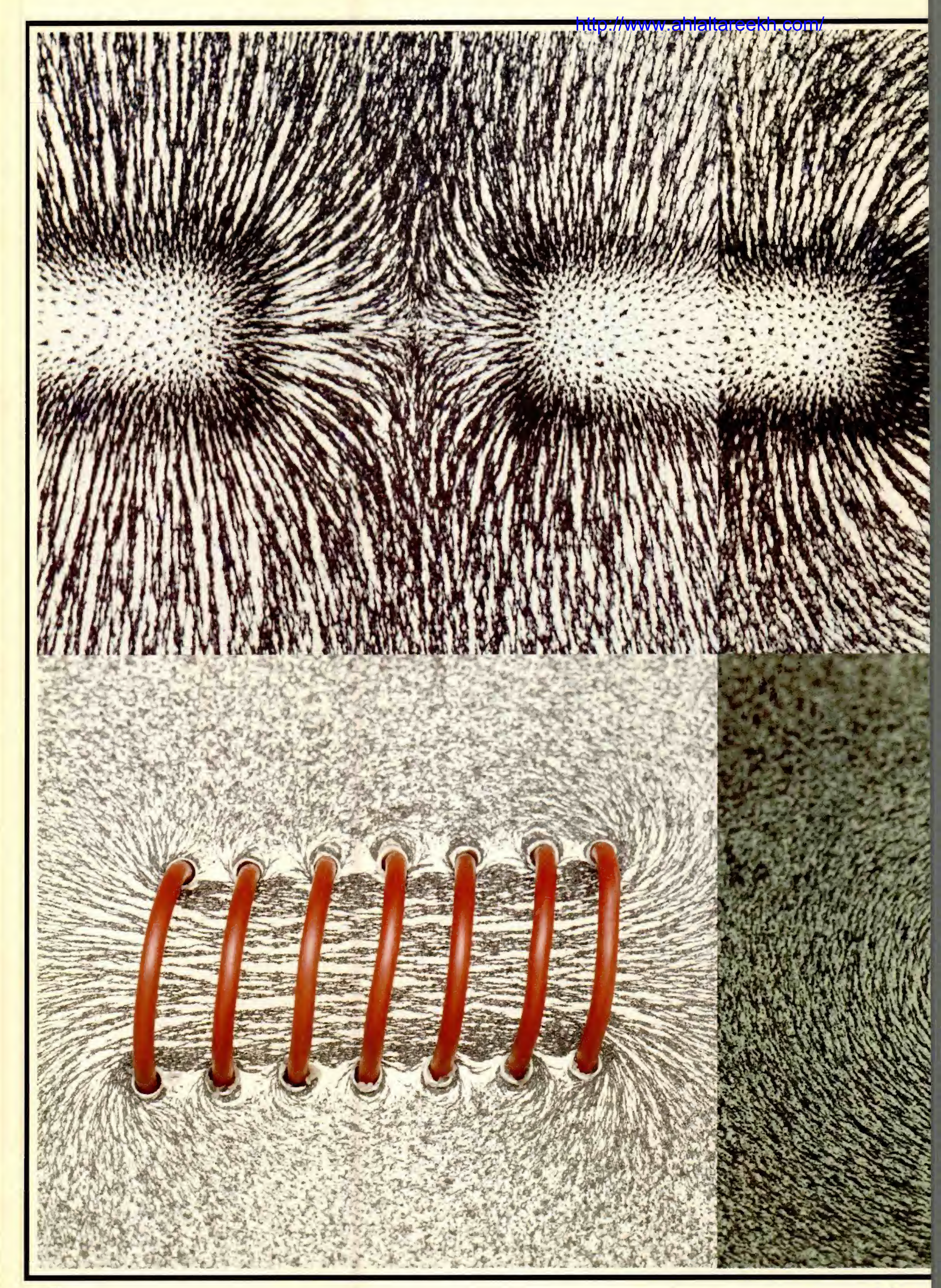
5 الْكَهْرَبِيَّةُ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةُ

رَغْمَ أَنَّ الْكَهْرَبِيَّةَ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةَ يَبْدُوَانِ خَفِيَّيْنِ ، إِلَّا أَنَّهُمَا فِى الْحَقِيقَةِ يَتَوَاجَدَانِ فِى مُعْظَمِ الْأَمَاكِنِ الْعَادِيَّةِ ، وَحَيْثُ تُوجَدُ الْمَادَّةُ . فَهُمَا يَسْكُنَانِ مُخْتَفِيَيْنِ فِى الذَّرَّاتِ الَّتِى تُكَوِّنُ جَمِيعَ الْأَجْسَامِ . وَحَامِلَاتُ الْقُوَى الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةِ هِىَ دَقَائِقُ مَشْحُونَةٌ ، الْبُرُوتُونَاتُ الْمُوجَبَةُ فِى نَوَاةِ الذَّرَّةِ ، وَالْإِلِكْتُرُونَاتُ السَّالِبَةُ الَّتِى تَدُورُ حَوْلَ النَّوَاةِ كَالْكَوَاكِبِ .

وَيَنْطَبِقُ عَلَى هَذِهِ الدَّقَائِقِ قَانُونٌ طَبِيعِيٌّ يَنُصُّ عَلَى تَجَاذُبِ الشِّحْنَاتِ الْمُخْتَلِفَةِ وَتَنَافُرِ الشِّحْنَاتِ الْمُتَمَاثِلَةِ . وَالْكَهْرَبِيَّةُ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةُ هُمَا تَعْبِيرَانِ عَنْ هَذِهِ الْقَاعِدَةِ الْأَسَاسِيَّةِ . وَعِنْدَمَا يَلْتَصِقُ جَوْرَبٌ بِلَوْحٍ فِى مُجَفِّفِ الْمَلَابِسِ ، يَكُونُ السَّبَبُ هُوَ التَّجَاذُبُ بَيْنَ شِحْنَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الْكَهْرَبِيَّةِ الاسْتَاتِيكِيَّةِ الْمُتَوَلِّدَةِ. وَعِنْدَمَا يُضِيءُ مِصْبَاحٌ كَهْرَبِيٌّ . فَإِنَّ تَيَّارَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الْمَارَّ فِى السِّلْكِ فِى اتِّجَاهِ شِحْنَةٍ مُوجَبَةٍ يَحْمِلُ الطَّاقَةَ اللَّازِمَةَ .

وَقَدْ وَجَدَ الْعُلَمَاءُ طُرُقًا كَثِيرَةً لِاسْتِخْدَامِ الْقُوَى الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةِ . وَنَتِيجَةً لِلْعَمَلِيَّاتِ الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةِ فِى الذَّرَّاتِ ، فَإِنَّ هَذِهِ الْقُوَى تَظْهَرُ عَلَى صُوَرٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الطَّاقَةِ ، مِنْهَا التَّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ وَالْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومِغْنَاطِيسِيَّةُ . وَسَيَتَجَوَّلُ هَذَا الْفَصْلُ بَيْنَ مَصَادِرِ وَسُلُوكِ الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمِغْنَاطِيسِيَّةِ ، وَيَسْتَعْرِضُ بَعْضَ الطُّرُقِ الْبَارِعَةِ لِقِيَاسِ التَّحَكُّمِ فِى هَذِهِ الْقُوَى الْمُتَمَيِّزَةِ .

بُرَادَةُ الْحَدِيدِ تَرْسُمُ خُطُوطَ الْقُوَى الْمِغْنَاطِيسِيَّةِ (مُضَادَّ لِحَرَكَةِ عَقْرَبَيْ السَّاعَةِ مِنْ أَعْلَى) حَوْلَ قُضْبَانٍ مِغْنَاطِيسِيَّةٍ ، سِلْكٌ يَمُرُّ بِهِ تَيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ (يمين) وَمِلَفٌّ مَعْدِنِيٌّ يَمُرُّ بِهِ تَيَّارٌ كَهْرَبِى (أقصى يمين) وَتُوَضِّحُ الصُّوَرُ الْعَلَاقَةَ الْوَثِيقَةَ بَيْنَ الْقُوَى الْمِغْنَاطِيسِيَّةِ وَالْكَهْرَبِيَّةِ .

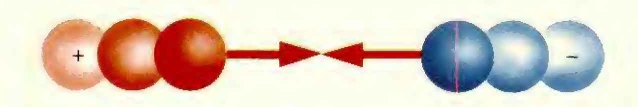


كَيْفَ يَجْذِبُ الْبلاسْتك الْوَرَقَ ؟

أَحْيانًا ، تُظْهِرُ الْأَجْسامُ الْعَادِيَّةُ قُوًى غَيْرَ عادِيَّةٍ : فَقَضِيبٌ مِن الْبلاسْتِكِ يُمْكِنُهُ جَذْبُ الْوَرَقِ مِثْلَ جَذْبِ الْمَغْناطِيس لِلْحَدِيدِ ، أو الْتِصاقِ الرَّغْويَّاتِ الجامِدةِ بالْأَشْياءِ . وَهَذِهِ الْمُشاهَدَاتُ تَحْدُثُ بِسَبَبِ الْكَهْرَبِيَّةِ الاسْتاتِكيَّةِ . وَتَنْتُجُ هَذِهِ الْكَهْرَبِيَّةُ مِن التَّفَاعُلِ بَيْنَ الدَّقائِقِ الْمَشْحُونَةِ ، الْإِلِكْتُرُونَاتِ السَّالِبَةِ والْبرُوتُونَاتِ الْمُوجَبَة . وَعادَةً ، تَكُونُ الْأَجْسَامُ فِي حَالَةِ اتِّزانٍ كَهْرَبِيٍّ ، لِأَنَّهَا تَتَكَوَّنُ مِن عَدَدٍ مُتَسَاوٍ مِن الدَّقَائِقِ الْمُوجَبَةِ وَالسَّالِبَةِ الْمُوزَّعَةِ بانْتِظَامٍ . فَإِذَا فَقَدت الذَّرَّةُ أو اكْتَسَبَتْ إِلِكْتِرُونَاتٍ ، فَإِنَّ هَذِهِ الْأَجْسَامَ الْمُتَعَادِلَةَ تُصْبِحُ مُوجَبَةً أَوْ سَالِبَةَ الشِّحْنَةِ . وَتُشْحَنُ الْأَجْسَامُ بِالاحْتِكَاكِ أَو الدَّلْكِ ، وَهَذَا يَسْلُبُ إِلِكْتُرُونَاتٍ مِنْ بَعْضِ الْمَوادِّ ، فَيَتْرُكُهَا مُوجَبَةَ الشِّحْنَةِ . فَمَثَلًا ، عِنْدَ دَلْكِ قَضِيبٍ مِن الْبَلاسْتِكِ بِقِطْعَةِ فَرْوٍ ، تَنْتَقِلُ إِلِكْتُرونَاتٌ مِن الْفَرْوِ إِلَى الْبلاسْتِك . وَيُصْبِحُ الْبلاسْتِكُ سَالِبَ الشِّحْنَةِ ، وَالْفَرْوُ مُوجَبَ الشِّحْنَةِ . فَإِذَا قُرِّبَ قَضِيبُ الْبلاسْتِكِ الْمَشْحُونُ إِلَى قُصَاصَاتِ وَرَقٍ مُتَعَادِلَةٍ كَهْرَبِيًّا ، فَإِنَّ الْوَرَقَ يَلْتَصِقُ بالبَلاسْتِكِ . وَسَبَبُ هَذَا التَّجَاذُبِ وُجُودُ شِحْنَةٍ سَالِبَةٍ عَلَى قَضِيبِ الْبلاسْتِك .

قَاعِدَةٌ كَهْرَبِيَّةٌ أَسَاسِيَّةٌ

يَنُصُّ قَانُونٌ أَسَاسِيٌّ فِي الْكَهْرَبِيَّةِ عَلَى أَنَّ الشِّحْنَاتِ الْمُخْتَلِفَةَ (+ −) تَتَجَاذَبُ ، وَالشِّحْنَاتِ الْمُتَمَاثِلَةَ (+ + أو − −) تَتَنَافَرُ . وَتَتَوَقَّفُ قُوَّةُ التَّجَاذُبِ أَو التَّنَافُرِ عَلَى الْمَسَافَةِ : فَتَزْدَادُ الْقُوَّةُ كُلَّمَا قَلَّت الْمَسَافَةُ بَيْنَ الشِّحْنَتَيْنِ .

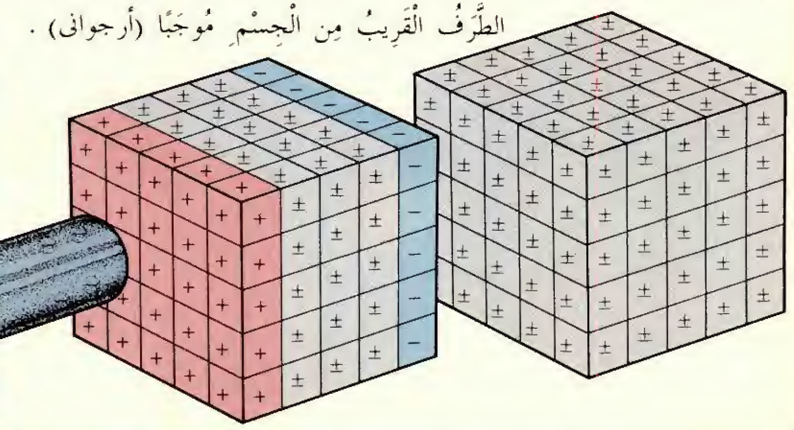


تَجَاذُبٌ بَيْنَ شِحْنَاتٍ كَهْرَبِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ

تَنَافُرٌ بَيْنَ شِحْنَاتٍ كَهْربِيَّةٍ مُتَمَاثِلَةٍ

شَحْنٌ بِدُونِ لَمْسٍ (بالتأثير)

إِذَا قُرِّبَ قَضِيبٌ سَالِبُ الشِّحْنَةِ مِنْ جِسْمٍ مُتَعَادِلٍ ، فَإِنَّ الشِّحْنَةَ سَوْفَ تَطْرُدُ الْإِلِكْتُرُونَاتِ السَّالِبَةَ فِي هَذَا الْجِسْمِ إِلَى الطَّرَفِ الْبَعِيدِ (أزرق −) وَيُصْبِحُ الطَّرَفُ الْقَرِيبُ مِن الْجِسْمِ مُوجَبًا (أرجوانى) .





سِحْرُ الْاحْتِكَاك

الْاحْتِكَاكُ النَّاتِجُ عَنْ دلْكِ قضِيبٍ مِن الْبِلَاسْتِك بِالْفَرْوِ ، يُكْسِبُ الْقَضِيبَ إِلِكْتْرُونَاتٍ (−) فَيُصْبِحُ سَالِبَ الشِّحْنَة (أعلى). فَيلْتَصِقُ الْوَرَقُ بِالْقَضِيبِ (أقصى يمين) .

تَحْدِيدُ الشِّحْنَة

تُوجَدُ فِى مَوَادَّ مُعَيَّنَةٍ إِلِكْتْرُونَاتٌ حُرَّةٌ كَثِيرَةٌ تَرْتَبِطُ ارْتِبَاطًا ضَعِيفًا بِذَرَّاتِها (−) وَفِى مَوَادَّ أُخْرَى تَرْتَبِطُ الْإِلكْتْرُونَاتُ ارْتِبَاطًا وَثِيقًا بالنَّوَاةِ الْمُوجَبَةِ (+). وَعِنْدَما تُدَلَّكُ مَادَّتَانِ مَعًا ، مِثْلُ الْفَرْوِ وَالْبِلَاسْتِكِ ، فَالْأَكْثَرُ إِلِكْتْرُونَاتٌ حُرَّة ، وَهُوَ الْفَرْوُ ، يُعْطى هَذِهِ الْإِلِكْتِرُونَاتِ لِلْبِلَاسْتِك ، فَيُصْبِحُ الْفَرْوُ مُوجَبَ الشِّحْنَة .

كيف يتوهج الْمِصباح الْكهربىُّ ؟

الْكَهْرَبِيَّةُ الَّتِى تُضِىءُ الْمَصَابِيحَ وَالَّتِى تُشَغِّلُ التِّلِيفِزْيُونَاتِ وَالْأَجْهِزَةَ الْمَنْزِلِيَّةَ ، تَتَكَوَّنُ مِنْ سَيْلِ إِلِكْتْرُونَاتٍ أَوْ تَيَّارٍ كَهْرَبِىٍّ . وَعِنْدَمَا يُسْتَحَثُّ إِلِكْتْرُونٌ حُرٌّ لِيَتَحَرَّكَ ، فَسَوْفَ يَصْطَدِمُ بِذَرَّةٍ ، وَيُثِيرُهَا ، أَىْ يُعْطِيهَا بَعْضَ طَاقَتِهِ . وَتُحَرِّرُ الذَّرَّةُ هَذِهِ الطَّاقَةَ عَلَى صُورَةِ إِشْعَاعٍ كَهْرُومَغْنَاطِيسِىّ ، وَتَدْفَعُ إِلِكْتْرُونَاتٍ أُخْرَى لِلْعَمَلِ . وَعِنْدَمَا تَنْسَابُ الْإِلِكْتْرُونَاتُ فِى الْفَتِيلِ الْمَعْدِنِىِّ لِمِصْبَاحٍ مُتَوَهِّجٍ ، فَإِنَّ تَسْخِينَ الْفَتِيلَةِ يَجْعَلُهَا تُطْلِقُ إِشْعَاعًا كَهْرُومَغْنَاطِيسِيًّا وَتَتَوَهَّجُ بِضَوْءٍ أَبْيَضَ .

وَفِى مَصَابِيحِ الْفُلُورسِنْتِ (أقصى يسار)، يَسْرِى تَيَّارٌ خِلَالَ غَازٍ بَدَلًا مِن الْفَتِيلَةِ . فَيُطْلِقُ الْغَازُ طَاقَةً فَوْقَ بَنَفْسَجِيَّةٍ ، يُثِيرُ الْغِلَافَ الدَّاخِلِىَّ الْفُوسْفُورِىَّ لِلْأُنْبُوبِ ، وَيَحْدُثُ تَفَاعُلٌ مُتَسَلْسِلٌ يُحَرِّرُ إِشْعَاعًا كَهْرُومِغْنَاطِيسِيًّا عَلَى صُورَةِ ضَوْءٍ مَرْئِىٍّ .

فَتِيلَة

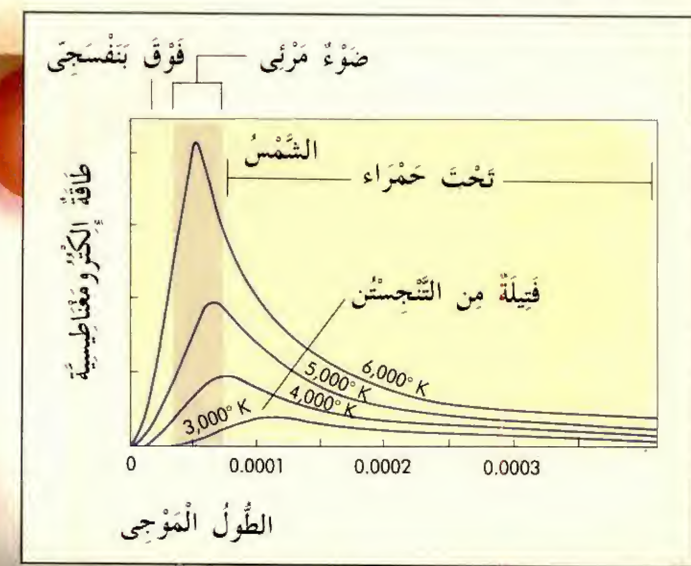
دِعَامَةٌ زُجَاجِيَّة

دِعَامَةٌ مِن السِّلْكِ

قَاعِدَة

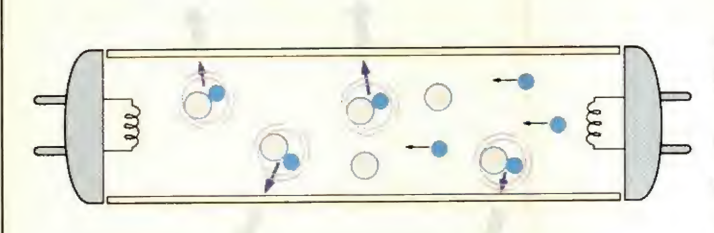
نَوَاةٌ مُوجَبَة

الطُّولُ الْمَوْجِىُّ الَّذِى تَبْعَثُ عِنْدَهُ الْأَجْسَامُ السَّاخِنَةُ الْإِشْعَاعَ ، يَتَوَقَّفُ بِدَرَجَةٍ كَبِيرَةٍ عَلَى دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْجِسْمِ . فَالشَّمْسُ عند ٦٠٠٠° كلفن (ك) تَبْعَثُ مُعْظَمَ إِشْعَاعِهَا كَضَوْءٍ مَرْئِىّ . بَيْنَمَا فَتِيلَةُ الْمِصْبَاحِ الْمُتَوَهِّجِ ١٠٠ وات ، عند ٣٠٠٠°ك ، تُطْلِقُ مُعْظَمَ إِشْعَاعِهَا فِى الْمِنْطَقَةِ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ ، وَالْقَلِيلَ فِى الْمِنْطَقَةِ الْمَرْئِيَّةِ .



ضَوْءُ الْفُلُورسِنْتِ مِنْ غَازٍ

يَعْتَمِدُ مِصْبَاحُ الْفُلُورسِنْتِ عَلَى الْإِلِكْتْرُونَاتِ ، وَالْغَازِ ، وَمَادَّةٍ كِيمْيَائِيَّةٍ هِيَ الْفُوسْفُورُ لِإِنْتَاجِ الضَّوْءِ . وَدَاخِلَ الْأُنْبُوبِ الزُّجَاجِيِّ ، تَصْطَدِمُ الْإِلِكْتْرُونَاتُ السَّارِيَةُ بِذَرَّاتِ الْغَازِ ، فَتُنَشِّطُهَا . وَهَذِهِ الْإِلِكْتْرُونَاتُ الْمُثَارَةُ تُحَرِّرُ أَشِعَّةً فَوْقَ بَنَفْسَجِيَّةٍ غَيْرَ مَرْئِيَّةٍ ، تَصْطَدِمُ بِالْغِلَافِ الْفُوسْفُورِي الدَّاخِلِي لِلْأُنْبُوبِ . وَيَمْتَصُّ الْفُوسْفُورُ هَذِهِ الْأَشِعَّةَ ، وَيُعِيدُ إِشْعَاعَهَا كَضَوْءٍ مَرْئِيٍّ .



الْفَتِيلُ الْمُدْهِش

تُسَخِّنُ الْكَهْرَبِيَّةُ الْفَتِيلَ — وَهُوَ مِلَفُّ السِّلْكِ دَاخِلَ مِصْبَاحٍ مُتَوَهِّجٍ — حتى ٣٠٠٠°ك (٥٠٠٠°ف). وَيَتَحَمَّلُ هَذَا السِّلْكُ الرَّفِيعُ الْحَرَارَةَ لِأَنَّهُ مَصْنُوعٌ مِن التَّنْجِسْتُن ، وَهُوَ فِلِزٌّ دَرَجَةُ انْصِهَارِهِ عَالِيَة .

إلِكْتُرون حُرّ

حَرَارَةُ مِصْبَاحٍ مُتَوَهِّجٍ

يَسْخُنُ الْمِصْبَاحُ الْمُتَوَهِّجُ لِأَنَّ الْإِلِكْتْرُونَاتِ الْحُرَّةَ (أزرق) تَتَسَابَقُ خِلَالَ الْفَتِيلِ الْمَعْدِنِيِّ (الْأُنْبُوب) وَتَصْطَدِمُ بِالذَّرَّاتِ السَّاكِنَةِ (أحمر) فِي طَرِيقِهَا . فَتَبْدَأُ الذَّرَّاتُ الْمُثَارَةُ فِي الاهْتِزَازِ ، مُسَبِّبَةً سُخُونَةَ الْفَتِيلِ الْمَعْدِنِيِّ وَتَوَهُّجه .

كيف تعمل الكهربية ؟



يستطيع التيار الكهربى أن يشغل الآلات فقط عندما يمر فى دائرة كهربية . والدائرة الكهربية هى قناة تتحرك فيها الكهربية . ومصدرها هو مصدر القدرة مثل بطارية يوصل بها الجهاز ــ مصباح مثلا ــ بسلك توصيل . ولا تنتهى الدائرة الكهربية فى الجهاز ، ولكنها تعود ثانية إلى مصدر القدرة . والقوة التى تحفظ التيار الكهربى ساريا فى دائرة تعرف بالقوة الدافعة الكهربية أو الجهد . ولأن الأجهزة تعطل تيار الدائرة الكهربية ، فهى تسمى مقاومات .

ولنفهم العلاقة بين التيار الكهربى والجهد والمقاومة يمكن تصور الكهربية كأنها ماء سار فى أنبوب (أعلى). والبطارية كأنها مضخة الماء ، والتيار الكهربى كأنه حجم الماء . ويمثل مقاومتى الدائرة ــ وهما المصباحان ــ كتلتان منزلقتان فى مسار الماء .

وفى هذا النموذج ، فى كل مرة يصطدم الماء (الكهربية) بالمنزلقة (المقاومة) ، فإنه ينخفض إلى مستوى أقل (جهد أقل). ويظل حجم الماء (التيار) ثابتا ، ولكن ارتفاعه (القدرة) يقل . وهكذا بالنسبة للتيار الكهربى . فعندما يمر التيار الكهربى خلال مقاومة ، فإن بعض طاقته يتبدد ، ويقل جهده (الفولت) .

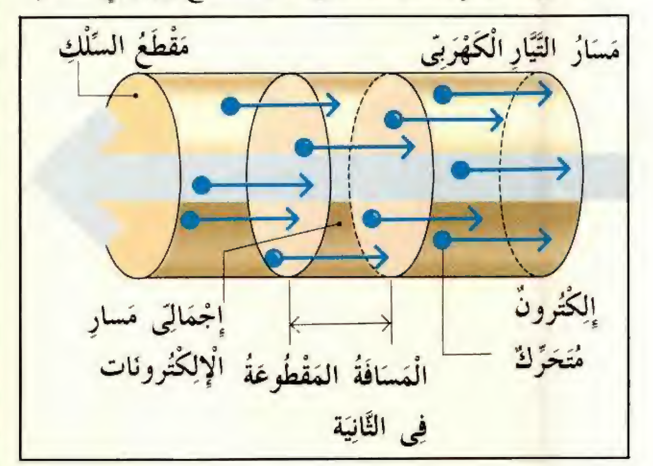
حِسَابُ انْخِفَاضِ الْجُهْدِ

عِنْدَمَا يَمُرُّ تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ فِى مُقَاوِمَةٍ مِثْلِ مِصْبَاحٍ كَهْرَبِىٍّ ، فَإِنَّ الضَّغْطَ (أو الفولت) عَلَى التَّيَّارِ يَقِلُّ . وَمِقْدَارُ النَّقْصِ يُسَمَّى انْخِفَاضَ الْجُهْدِ . وَيُمْكِنُ حِسَابُ مِقْدَارِ انْخِفَاضِ الْجُهْدِ رِيَاضِيًّا بِضَرْبِ : مِقْدَارِ الْمُقَاوَمَةِ × مِقْدَارِ التَّيَّارِ الْكَهْرَبِىِّ .



التَّيَّارُ وَسَرَيَانُ الْإِلِكْتُرُونَاتِ

تَتَحَرَّكُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ (كرات زرقاء) نَحْوَ الْقُطْبِ الْمُوجَبِ لِمَصْدَرِ الْقُدْرَةِ ، فَيَمُرُّ تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ مِنَ الْقُطْبِ الْمُوجَبِ إِلَى الْقُطْبِ السَّالِبِ (السهم الأزرق الكبير) . وَيَتَوَقَّفُ مِقْدَارُ التَّيَّارِ الْمَارِّ عَلَى عَدَدِ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الَّتِى تَعْبُرُ الْمَقْطَعَ فِى زَمَنٍ مُحَدَّدٍ .



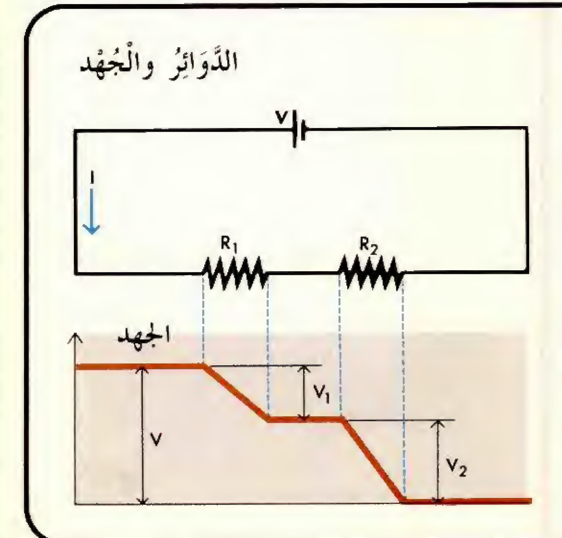
تَتَبُّعُ دَائِرَةٍ عَلَى التَّوَازِى

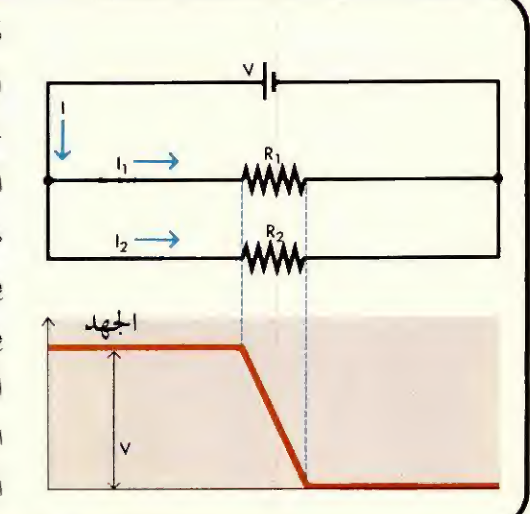
فِى الدَّائِرَةِ الْمُوَصَّلَةِ عَلَى التَّوَازِى ، يَمُرُّ التَّيَّارُ الْكَهْرَبِىُّ (أسهم زرقاء) فِى مَسَارَيْنِ مُنْفَصِلَيْنِ قَبْلَ أَنْ يَعُودَ إِلَى مَصْدَرِ التَّيَّارِ (بطارية حمراء) .

الدَّوَائِرُ وَالْجُهْدُ

دَائِرَةُ التَّوَالِى (يسار) بِهَا مُقَاوَمَتَانِ (R) تَعْمَلَانِ عَلَى التَّتَابُعِ عَلَى خَفْضِ الْجُهْدِ (V) وَانْخِفَاضُ الْجُهْدِ فِى الدَّائِرَةِ هُوَ مَجْمُوعُ هَذَيْنِ الْانْخِفَاضَيْنِ .

فِى دَائِرَةِ التَّوَازِى (يمين) يَمُرُّ التَّيَّارُ فِى مَسَارَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ . وَمَوَاضِعُ الْمُقَاوِمَاتِ (R) تَجْعَلُهَا تُحْدِثُ انْخِفَاضًا وَاحِدًا فِى الْجُهْدِ فِى نَفْسِ الْوَقْتِ (I هى شدة التيار) .





كَيْفَ تُقَاسُ الْكَهْرَبِيَّةُ ؟

لِأَنَّ الْكَهْرَبِيَّةَ غَيْرُ مَرْئِيَّةٍ ، فَقَدِ ابْتَكَرَ الْعُلَمَاءُ طُرُقًا بَارِعَةً لِقِيَاسِهَا . وَأَحَدُهَا بِاسْتِخْدَامِ جِلْفَانُومِتر (يسار) ، يَتَرَكَّبُ مِنْ مِلَفٍّ مِنْ سِلْكٍ رَفِيعٍ يَمُرُّ بِهِ التَّيَّارُ ، مَوْضُوعٌ بَيْنَ قُطْبَيْ مَغْنَاطِيسٍ دَائِمٍ . وَعِنْدَ مُرُورِ التَّيَّارِ فِي الْمِلَفِّ ، يُوَلِّدُ التَّيَّارُ قُوَّةً كَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةً كَافِيَةً لِتَحْرِيكِ الْمِلَفِّ بَيْنَ الْقُطْبَيْنِ . وَيَقِيسُ الْجِلْفَانُومِتر مِقْدَارَ التَّيَّارِ الْمَارِّ فِي الدَّائِرَةِ عَنْ طَرِيقِ مِقْدَارِ انْحِرَافِ الْمِلَفِّ . وَالْأَمِيتَر يَسْتَخْدِمُ هَذَا الْمَفْهُومَ مَعَ إِضَافَةِ إِبْرَةٍ وَتَدْرِيجٍ يُبَيِّنُ مُعَدَّلَ سَرَيَانِ التَّيَّارِ بِالْأَمْبِير . وَإِذَا أُضِيفَتْ إِلَيْهِ مُقَاوَمَةٌ ، يُصْبِحُ هَذَا الْجِهَازُ فُولْتِمِيتر ، يَقِيسُ مِقْدَارَ انْخِفَاضِ الْجُهْدِ (بالفولت) وَهُوَ الْقُوَّةُ الَّتِي تَدْفَعُ التَّيَّارَ لِلْمُرُورِ فِي الدَّائِرَةِ .

دَاخِل أَمِيتَر

إِبْرَة

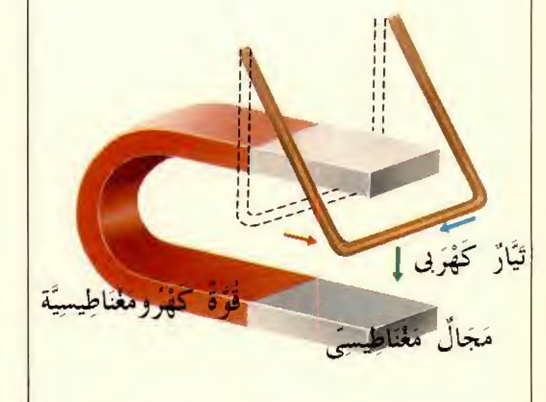
تَدْرِيجٌ

زُنْبُرك

مِلَفٌّ حَامِلٌ لِلتَّيَّارِ

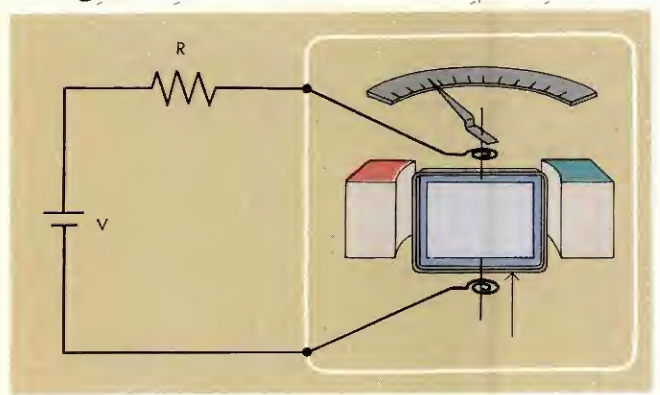
قَاعِدَةُ الْيَدِ الْيُمْنَى

إِذَا وُضِعَ سِلْكٌ حَامِلٌ لِلتَّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ فِي الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِيِّ لِمَغْنَاطِيسٍ دَائِمٍ ، فَإِنَّ مُحَصِّلَةَ طَاقَةِ التَّيَّارِ وَالْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِيِّ تُوَلِّدُ قُوَّةً كَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةً كَافِيَةً لِتَحْرِيكِ السِّلْكِ . وَلِتَذَكُّرِ الْعَلَاقَةِ بَيْنَ اتِّجَاهَاتِ التَّيَّارِ ، وَالْقُوَّةِ وَالْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِيِّ ، وُضِعَتْ قَاعِدَةٌ فِيزْيَائِيَّةٌ سَهْلَةُ التَّذَكُّرِ تُسَمَّى قَاعِدَةَ الْيَدِ الْيُمْنَى . بِمَدِّ إِبْهَامِ الْيَدِ الْيُمْنَى لِيُشِيرَ إِلَى اتِّجَاهِ سَرَيَانِ التَّيَّارِ ، وَالْأَصَابِعِ لِتُشِيرَ إِلَى اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِيِّ الْخَارِجِيِّ ، وَيَكُونُ بَاطِنُ الْكَفِّ مُتَّجِهًا لِاتِّجَاهِ الْقُوَّةِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةِ .



كَيْفَ يَعْمَلُ الْأَمِيتَر

بِوَضْعِ أَمِيتَر فِى دَائِرَةٍ كَهْرَبِيَّةٍ ، فَإِنَّ التَّيَّارَ الْكَهْرَبِىَّ يُوَلِّدُ قُوَّةً كَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةً تُحَوِّلُ مِلَفَّ الْجِهَازِ إِلَى قَضِيبٍ مَغْنَاطِيسِىٍّ . وَيَعْمَلُ الْمَغْنَاطِيسُ الدَّائِمُ (أرجوانى/أخضر) عَلَى أَنْ يَتَّجِهَ الْقُطْبُ الشَّمَالِى لِهَذَا الْقَضِيبِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ جِهَةَ الْقُطْبِ الْجَنُوبِىِّ لِلْمَغْنَاطِيسِ الدَّائِمِ . وَيُحَدِّدُ الْمُؤَشِّرُ شِدَّةَ التَّيَّارِ الْكَهْرَبِىِّ .

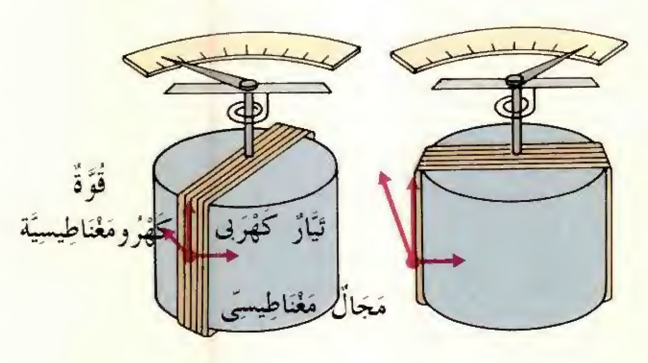




أَمِيتَر

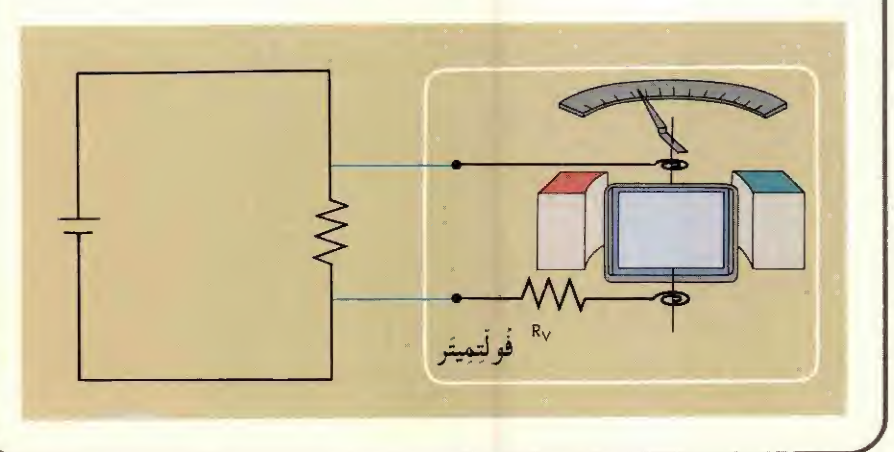
قِيَاسُ شِدَّةِ التَّيَّار

الْقُوَّةُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةُ الْمُتَوَلِّدَةُ فِى مِلَفِّ الْأَمِيتَر ، تُؤَثِّرُ عَمُودِيًّا عَلَى الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ لِلْمَغْنَاطِيسِ الدَّائِمِ . وَبِمَا أَنَّ شِدَّةَ التَّيَّارِ تُحَدِّدُ مِقْدَارَ الْقُوَّةِ الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ الَّتِى تُسَبِّبُ انْحِرَافَ الْمُؤَشِّرِ ، فَإِنَّ الْأَمِيتَر يُمْكِنُه قِيَاسُ شِدَّةِ التَّيَّارِ . وَتَزْدَادُ قِرَاءَتُهُ (أقصى يسار) بِازْدِيَادِ شِدَّةِ التَّيَّارِ .



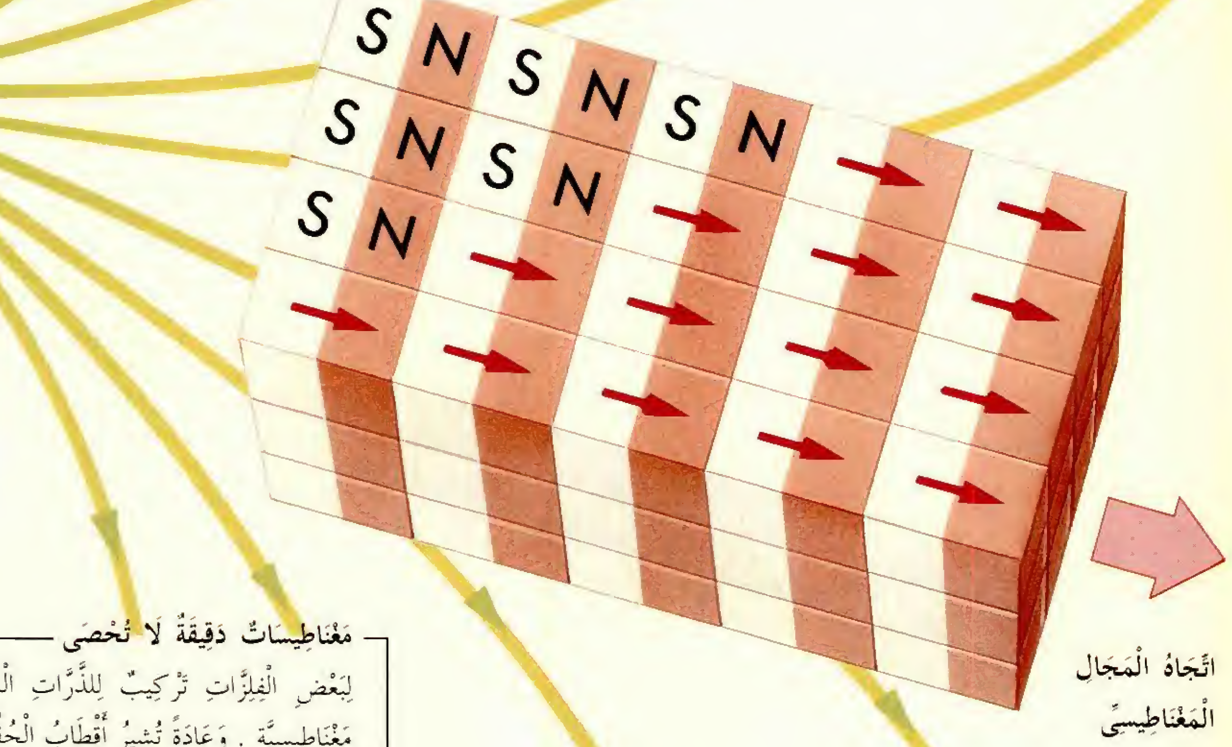
تَحْوِيلُ الْأَمِيتَر إِلَى فُولْتِمِيتَر

إِذَا وُصِّلَ الْأَمِيتَر بِمُقَاوَمَةٍ (R_V) تَعْمَلُ عَلَى إِبْطَاءِ سَرَيَانِ الْكَهْرَبِيَّةِ ، ثُمَّ أُدْخِلَ فِى دَائِرَةٍ كَهْرَبِيَّةٍ ، فَإِنَّ الْجِهَازَ يَقِيسُ جُهْدَ الدَّائِرَةِ الْكَهْرَبِيَّةِ . وَالْجُهْدُ يَدُلُّ عَلَى مِقْدَارِ الْقُوَّةِ الَّتِى تُحَرِّكُ التَّيَّارَ فِى الدَّائِرَةِ .



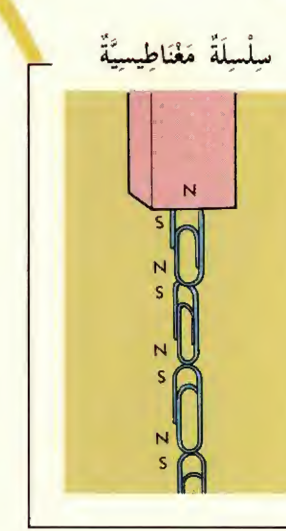
لَمَاذَا يَجْذِبُ الْمُغْنَاطِيسُ الْحَدِيدَ ؟

يَجْذِبُ الْمُغْنَاطِيسُ أَجْسَامًا مِنْ مَعَادِنَ مُعَيَّنَةٍ ، كَأَنَّهُ السِّحْرُ . وَيَرْجِعُ ذَلِكَ إِلَى الطَّرِيقَةِ الْخَاصَّةِ لِسُلُوكِ إِلِكْتروناتِهِ . وَمَادَامَ أَىُّ إِلِكْتُرُونٍ يَدُورُ حَوْلَ ذَرَّةٍ يُوَلِّدُ مَجَالًا مَغْنَاطِيسِيًّا ، فَإِنَّ جَمِيعَ الذَّرَّاتِ تُعْتَبَرُ مَغْنَاطِيسِيَاتٍ دَقِيقَةً . وَلَكِنْ فِى مُعْظَمِ الْمَوَادِّ ، فَإِنَّ التَّأْثِيرَاتِ الْمَغْنَاطِيسِيَّةَ الْعَشْوَائِيَّةَ لِلذَّرَّاتِ يُلْغِى بَعْضُهَا الْبَعْضِ . وَلَكِنْ فِى الْمَغْنَاطِيسَاتِ ، يَتَرَتَّبُ الْمَجَالُ الْمَغْنَاطِيسِيُّ لِلذَّرَّاتِ بِطَرِيقَةٍ تُوَلِّدُ مَنَاطِقَ تُسَمَّى حُقُولًا . وَهَذِهِ الْحُقُولُ لَهَا قُطْبٌ شَمَالِىٌّ (N) وَقُطْبٌ جَنُوبِىٌّ (S). وَتَتَّجِهُ خُطُوطُ الْقُوَى (خضراء) — وَهِىَ مَنَاطِقُ الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ الْمُرَكَّزَةِ — مِنَ الْقُطْبِ الشَّمَالِىِّ لِلْمَغْنَاطِيسِ إِلَى قُطْبِهِ الْجَنُوبِىِّ . وَيُعْرَفُ هَذَا بِاتِّجَاهِ الْمَجَالِ . وَالْقُطْبُ الشَّمَالِىُّ لِمَغْنَاطِيسٍ يَجْذِبُ قُطْبًا جَنُوبِيًّا ، بَيْنَمَا يَتَنَافَرُ الْقُطْبَانِ الْمُتَمَاثِلَانِ . وَتَجْذِبُ الْمَغْنَاطِيسَاتُ فِلِزَّاتٍ مُعَيَّنَةً تُسَمَّى مَوَادَّ حَدِيد ومَغْنَاطِيسِيَّةٍ مِثْلَ الْحَدِيدِ وَالنِّيكَلِ وَالْكُوبلْت . وَرَغْمَ أَنَّ هَذِهِ الْمَوَادَّ لَيْسَتْ مَغْنَاطِيسَاتٍ طَبِيعِيَّةً ، إِلَّا أَنَّهَا إِذَا وُضِعَتْ بِالْقُرْبِ مِنْ مَغْنَاطِيسٍ ، فَإِنَّ ذَرَّاتِهَا تُعِيدُ تَرْتِيبَ نَفْسِهَا بِحَيْثُ يَتَكَوَّنُ لِلْمَادَّةِ أَقْطَابٌ مَغْنَاطِيسِيَّةٌ .



اتِّجَاهُ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ

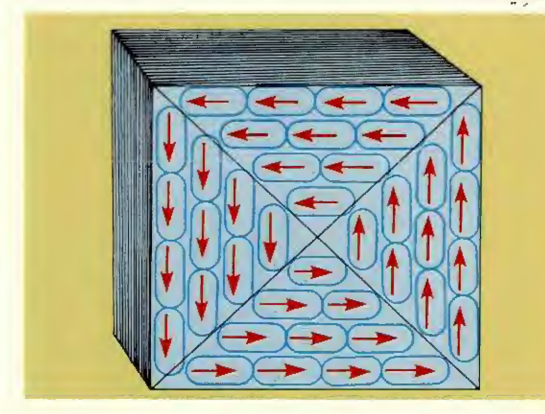
سِلْسِلَةٌ مَغْنَاطِيسِيَّةٌ



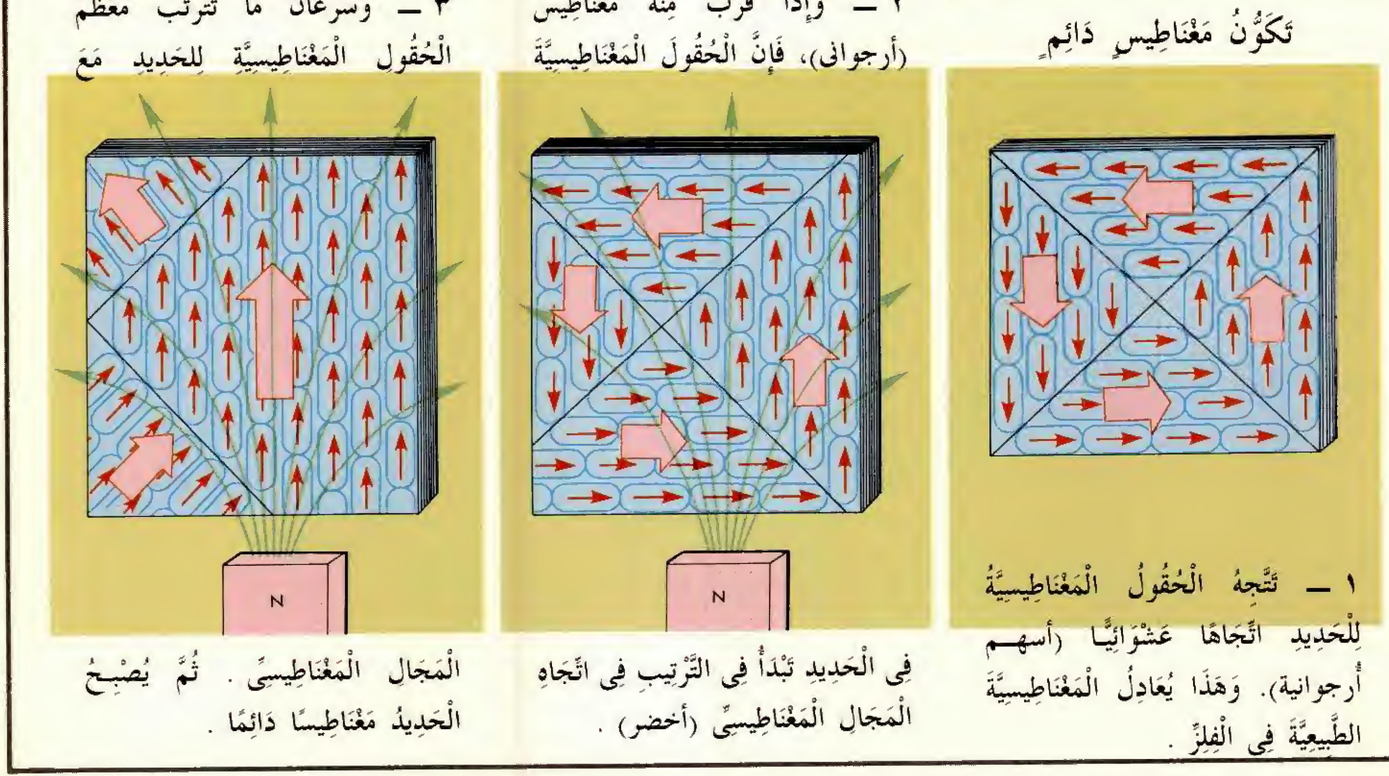
الْمَشَابِكُ الْمَعْدِنِيَّةُ لِلْوَرَقِ الْمُلَامِسَةُ لِلْمَغْنَاطِيسِ ، يَتَكَوَّنُ لِكُلٍّ مِنْهَا قُطْبَانِ : شَمَالِىٌّ وَجَنُوبِىٌّ . وَقُطْبَا كُلِّ مِشْبَكٍ يُشِيرَانِ فِى نَفْسِ اتِّجَاهِ قُطْبَى الْمَغْنَاطِيسِ . وَبِذَلِكَ أَصْبَحَ كُلُّ مِشْبَكٍ مَغْنَاطِيسًا .

مَغْنَاطِيسَاتٌ دَقِيقَةٌ لَا تُحْصَى

لِبَعْضِ الْفِلِزَّاتِ تَرْكِيبٌ لِلذَّرَّاتِ الْمُتَجَمِّعَةِ فِى حُقُولٍ مَغْنَاطِيسِيَّةٍ . وَعَادَةً تُشِيرُ أَقْطَابُ الْحُقُولِ الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ فِى اتِّجَاهَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ (أسهم حمراء)، وَلَا تَعْمَلُ كَأَنَّهَا مَغْنَاطِيسَاتٌ .



تَكَوُّنُ مَغْنَاطِيسٍ دَائِمٍ



١ ــ تَتَّجِهُ الْحُقُولُ الْمَغْنَاطِيسِيَّةُ لِلْحَدِيدِ اتِّجَاهًا عَشْوَائِيًّا (أسهم أرجوانية). وَهَذَا يُعَادِلُ الْمَغْنَاطِيسِيَّةَ الطَّبِيعِيَّةَ فِي الْفِلِزِّ .

٢ ــ وَإِذَا قَرُبَ مِنْه مَغْنَاطِيسٌ (أرجوانى)، فَإِنَّ الْحُقُولَ الْمَغْنَاطِيسِيَّةَ فِي الْحَدِيدِ تَبْدَأُ فِي التَّرْتِيبِ فِي اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِيِّ (أخضر) .

٣ ــ وَسَرْعَانَ مَا تَتَرَتَّبُ مُعْظَمُ الْحُقُولِ الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ لِلْحَدِيدِ مَعَ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِيِّ . ثُمَّ يُصْبِحُ الْحَدِيدُ مَغْنَاطِيسًا دَائِمًا .

كيف تصنع الكهربيةُ مغناطيساً ؟

أدّى اكتشاف أنَّ التيّاراتِ الكهْربيّةَ تولّدُ مجالاتٍ مغْناطيسيّةً إلى تمكُّنِ العُلماءِ منْ إنْتاجِ مغْناطيسٍ تتحكّمُ الكهْربيّةُ فِي مغْناطيسيّتِه . ومثْلُ هذه المغْناطيساتِ الكهْربيّةِ (يسار) قدْ تتكوّنُ من ملفٍّ لوْلبيٍّ من السِّلْكِ المعْزولِ ملْفوفٍ حوْلَ قلْبٍ منْ مادّةٍ مغْناطيسيّةٍ (عادة حديد). والمجالُ المغْناطيسيُّ النّاتجُ عن التيّارِ الكهْربيِّ فِي السِّلْكِ يُمغْنطُ القلْبَ المعْدنيَّ بنفْسِ الطريقةِ الّتِي يُمغْنطُ بها مغْناطيسٌ دائمٌ قِطْعةً من الحديدِ (ص ٧٨ — ٧٩) .

وأثْناءَ مُرورِ التيّارِ الكهْربيِّ فِي السِّلْكِ ، يعْملُ المغْناطيسُ الكهْربيُّ كأنّهُ مغْناطيسٌ دائمٌ : فتتكوّنُ خطوطُ المجالِ المغْناطيسيِّ مُقوّسةً منْ قُطْبِه الشّماليِّ إلى قُطْبِه الجنوبيِّ — عادةً عمُوديّةً على اتّجاهِ سريانِ التيّارِ ، وفقاً للقوانينِ الكهْرومغْناطيسيّةِ . وإذا عُكِسَ اتّجاهُ التيّارِ ، يتبدّلُ وضْعا قُطْبي المغْناطيسِ الكهْربيِّ وبالتّالِي ينْعكسُ اتّجاهُ خطُوطِ المجالِ ، ولكنْ لا يتغيّرُ الشّكْلُ الإجْماليُّ للمجالِ المغْناطيسيِّ . فيبْقى شكْلُ خطُوطِ المجالِ كما هُوَ ، مالمْ يتغيّرْ شكْلُ السِّلْكِ نفْسِه (أقصى يسار). وتعْملُ المُوتوراتُ والمُولِّداتُ وأنْظمةٌ كهْربيّةٌ أُخْرى بواسطةِ الكهْرومغْناطيسيّةِ .

خُطُوطُ مَجَالٍ مَغْنَاطِيسِىّ

مَجَالٌ مَغْنَاطِيسِىّ

تَيَّارٌ كَهْرَبِىّ

أَشْكَالُ الْمَجَالاَتِ الْمَغْنَاطِيسِيَّة

تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ مُسْتَقِيمٌ يَسْرِى لِأَعْلَى ، يُكَوِّنُ مَجَالًا مَغْنَاطِيسِيًّا بِشَكْلِ حَلَقَاتٍ مُتَّحِدَةِ الْمَرْكَزِ فِى عَكْسِ حَرَكَةِ عَقْرَبَىِّ السَّاعَةِ . وَإِذَاعُكِسَ التَّيَّارُ ، يَنْعَكِسُ اتِّجَاهُ الْمَجَالِ .

تَيَّارٌ كَهْرَبِىّ

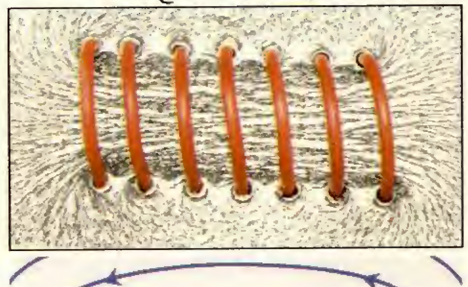
مَجَالٌ مَغْنَاطِيسِىّ

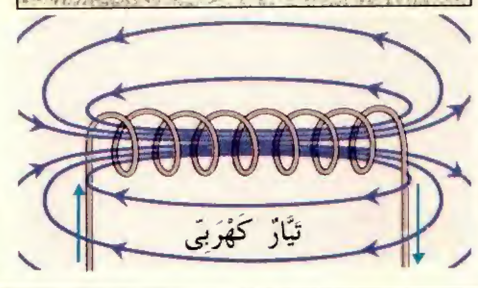
لَفَّةٌ وَاحِدَةٌ مِنْ مَلَفٍّ يَمُرُّ بِهَا تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ فِى اتِّجَاهٍ مُضَادٍّ لِحَرَكَةِ عَقْرَبَى السَّاعَةِ ، يُوَلِّدُ خُطُوطَ مَجَالٍ مَغْنَاطِيسِىٍّ مُكَوِّنَةً دَوَائِرَ تَتَّجِهُ مِنْ خِلَالِ تَجْوِيفِ اللَّفَّةِ إِلَى أَعْلَى اللَّفَّةِ ثُمَّ خَلْفَهَا (أعلى) .

بَطَّارِيَّة

الْمَجَالُ الْمَغْنَاطِيسِىُّ لِلفَّاتٍ عَدِيدَةٍ

كُلُّ لَفَّةٍ فِى الْمِلَفِّ اللَّوْلَبِىِّ (أسفل) الْمَارِّ بِهِ تَيَّارٌ كَهْرَبِى ، تَتَصَرَّفُ مِثْلَ اللَّفَّةِ الْوَاحِدَةِ (أعلى). وَيَكُونُ الْمَجَالُ الْمَغْنَاطِيسِىُّ الْمُحِيطُ بِالْمِلَفِّ اللَّوْلَبِىِّ هُوَ مُحَصِّلَةُ الْمَجَالاَتِ الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ الَّتِى تُوَلِّدُهَا جَمِيعُ اللَّفَّاتِ .





تَحْدِيدُ اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ

لِتَحْدِيدِ اتِّجَاهِ خُطُوطِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ حَوْلَ مِلَفٍّ يَمُرُّ بِهِ تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ ، تَخَيَّلْ أَنَّكَ تَقْبِضُ عَلَى الْأَسْلَاكِ بِيَدِكَ الْيُمْنَى بِحَيْثُ تُشِيرُ إِبْهَامُكَ إِلَى اتِّجَاهِ التَّيَّارِ ، فَيَكُونُ امْتِدَادُ إِبْهَامِكَ مُشِيرًا إِلَى اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ .

اتِّجَاهُ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىّ

اتِّجَاهُ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىّ

اتِّجَاهُ مُرُورِ التَّيَّارِ الْكَهْرَبِىّ

اتِّجَاهُ مُرُورِ التَّيَّارِ الْكَهْرَبِىّ

مَاذَا يَسْمَحُ لِلْكَهْرَبَاءِ بِالسَّرَيَانِ ؟

تَمُرُّ الْكَهْرَبِيَّةُ خَاطِفَةً عَبْرَ سِلْكٍ مِن النُّحَاسِ وَلَكِنَّهَا تَتَوَقَّفُ عِنْدَ دَفْعِهَا فِي أَنَابِيبَ مَطَّاطِيَّةٍ . وَمِثْلُ هَذِهِ الْأَمْثِلَةِ تُوَضِّحُ أَنَّهَا مَوَادُّ مُعَيَّنَةٌ فِي الطَّبِيعَةِ تَكُونُ مُوَصِّلَاتٍ جَيِّدَةً لِلْكَهْرَبِيَّةِ مِنْ عَدَمِهِ عَلَى تَرْكِيبِهَا الذَّرِّيِّ . كَمَا تَتَوَقَّفُ جَوْدَةُ تَوصِيلِهَا عَلَى مَدَى سُهُولَةِ حَرَكَةِ الْإِلِكْتُرونَاتِ فِيهَا . وَالْمُوَصِّلَاتُ ــ وَأَهَمُّهَا الْحَدِيدُ وَالنِّيكَلُ وَالْفِضَّةُ وَالنُّحَاسُ ــ بِهَا إِلِكْتُرونَاتٌ حُرَّةٌ ، غَيْرُ مُرْتَبِطَةٍ بِذَرَّةٍ مُعَيَّنَةٍ وَيُمْكِنُهَا التَّجَوُّلُ بَيْنَ الذَّرَّاتِ الْمُجَاوِرَةِ لِتَدُورَ حَوْلَ ذَرَّةٍ ثُمَّ أُخْرَى . وَعِنْدَمَا يَتَّصِلُ مُوَصِّلٌ بِبَطَّارِيَّةٍ فَإِنَّ الْمَجَالَ الْكَهْرَبِيَّ يُنَظِّمُ الْمَسَارَ الْعَشْوَائِي لِلْإِلِكْتُرونَاتِ إِلَى مَسَارٍ ثَابِتٍ . وَلِهَذَا فَإِنَّ الْفِلِزَّاتِ حَامِلَاتٌ مُمْتَازَةٌ لِلْكَهْرَبِيَّةِ .

أَمَّا الْعَازِلَاتُ ، فَلَا يُوجَدُ بِهَا إِلَّا قَلِيلٌ مِن الْإِلِكْتُرونَاتِ الْحُرَّةِ ، أَوْ لَا يُوجَدُ إِطْلَاقًا . فَالذَّرَّاتُ فِي مَوَادَّ مِثْلِ الْجِلْدِ وَالزُّجَاجِ وَالْبِلَاسْتِيكِ وَالْمَطَّاطِ تُمْسِكُ بِقُوَّةٍ بِعَنَانِ إِلِكْتُرُونَاتِهَا . وَلِغِيَابِ الشِّحْنَاتِ الْحُرَّةِ الْمُتَحَرِّكَةِ ، فَإِنَّ الْعَازِلَاتِ لَا تُوَصِّلُ التَّيَّارَ الْكَهْرَبِيَّ .

ذَرَّاتُ الْمُوَصِّلَاتِ بِهَا إِلِكْتُرُونٌ حُرٌّ أَوْ أَكْثَرُ . وَهَذِهِ الْإِلِكْتُرُونَاتُ لَا تَبْقَى فِي مَدَارَاتٍ ثَابِتَةٍ حَوْلَ النَّوَاةِ ، وَلَكِنَّهَا تُزَاحُ بِبُطْءٍ خِلَالَ التَّرْكِيبِ الذَّرِّيِّ الْمُحِيطِ بِهَا . وَعِنْدَمَا تَتَحَرَّكُ ، فَهِيَ تَنْقُلُ الْكَهْرَبِيَّةَ .

تَرْكِيبُ كَابْلِ قُوَى كَهْرَبِى

يُوجَدُ دَاخِلَ كَابْلِ الْقُوَى الْكَهْرَبِى حُزَمٌ مِنْ أَسْلَاكِ النُّحَاسِ الْمُوَصِّلَةِ . وَلِمَنْعِ الصَّدَمَاتِ الْكَهْرَبِيَّةِ ، تُلَفُّ الْأَسْلَاكُ بِعَازِلٍ مِن الْمَطَّاطِ .

تَيَّارٌ فِى مُوَصِّلٍ

إِذَا اتَّصَلَ الْمُوَصِّلُ بِبَطَّارِيَّةٍ (أقصى يسار)، فَإِنَّ الْإِلِكْتُرُونَاتِ (أزرق) تَبْدَأُ مَسَارًا مُنْتَظِمًا نَحْوَ الطَّرَفِ الْمُوجَبِ لِلْبَطَّارِيَّةِ فَيَتَوَلَّدُ تَيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ .

ذَرَّاتُ الْعَازِلَاتِ لَيْسَ بِهَا فِى الْوَاقِعِ إِلِكْتْرُونَاتٌ حُرَّةٌ ، لِأَنَّهَا تَرْتَبِطُ بِقُوَّةٍ بِنَوَاتِهَا . وَلِهَذَا ، فَإِنَّ الْعَازِلَاتِ لَا تَحْمِلُ إِلَّا تَيَّارًا كَهْرَبِيًّا ضَعِيفًا ، أَوْ لَا تَحْمِلُ إِطْلَاقًا .

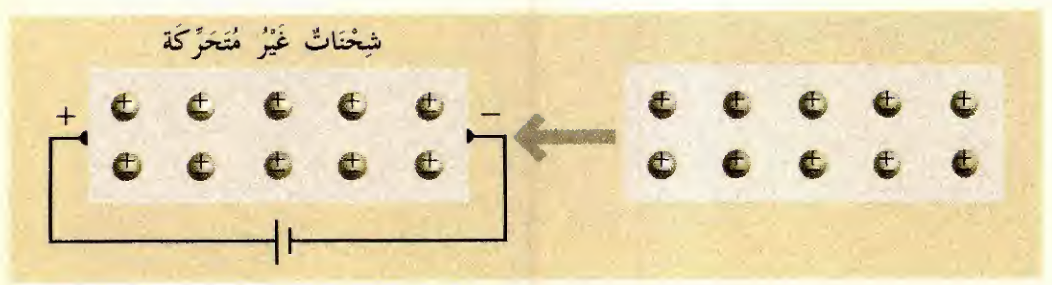
نَوَاةٌ

إِلِكْتْرُون

عَازِلٌ

الْعَازِلُ التَّامُّ

تَرْتَبِطُ إِلِكْتْرُونَاتُ الْعَازِلِ بِشِدَّةٍ بِأَنْوِيَتِهَا الْمُوجَبَةِ حَتَّى إِذَا وُصِّلَ الْعَازِلُ بِبَطَّارِيَّةٍ (أقصى يسار)، فَإِنَّ الْإِلِكْتْرُونَاتِ تَبْقَى فِى أَمَاكِنِهَا ، فَلَا يَمُرُّ التَّيَّارُ خِلَالَ الْعَازِلِ .



مَا هُوَ شِبْهُ الْمُوصِّلِ ؟

شِبْهُ الْمُوَصِّلِ مَادَّةٌ تُوَصِّلُ التَّيَّارَ الْكَهْرَبِىَّ ، وَلَكِنْ لَيْسَ مِثْلَ الْفِلِزَّاتِ ، كَمَا أَنَّهَا تُقَاوِمُ مُرُورَ الْكَهْرَبِيَّةِ ، وَلَكِنْ لَيْسَ مِثْلَ الْعَازِلَاتِ . وَبِصِفَةٍ عَامَّةٍ ، فَإِنَّ إِلِكْتُرُونَاتِ أَشْبَاهِ الْمُوَصِّلَاتِ مُرْتَبِطَةٌ بِنَوَيَاتِهَا بِشِدَّةٍ . وَلَكِنْ إِذَا أُدْمِجَ قَلِيلٌ مِن ذَرَّاتِ الْأَنْتِيمُونِ — وَبِهِ مَزِيدٌ مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ — فِى شِبْهِ مُوَصِّلٍ مِثْلِ السِّلِيكُونِ ، فَإِنَّ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الْحُرَّةَ سَتُكْسِبُهُ شِحْنَةً سَالِبَةً (N). وَبِإِحْلَالِ بِضْعِ ذَرَّاتِ شِبْهِ الْمُوصِّلِ بِذَرَّاتٍ مِنَ الْإِنْدِيُومِ — الَّذِى يُمْكِنُهُ اسْتِقْبَالُ إِلِكْتُرُونَاتٍ أُخْرَى — فَإِنَّ شِبْهَ الْمُوصِّلِ سَيَحْتَوِى فِى هَذِهِ الْحَالَةِ عَلَى ثُقُوبٍ فِى مَوَاضِعِ هَذِهِ الْإِلِكْتُرُونَاتِ ، فَتَعْمَلُ هَذِهِ الثُّقُوبُ وَكَأَنَّهَا شِحْنَةٌ مُوجَبَةٌ (P).

وَهَذِهِ الْخَوَاصُّ تَجْعَلُ أَشْبَاهَ الْمُوَصِّلَاتِ مُفِيدَةً فِى التَّرَانْزِسْتُورِ لِتَكْبِيرِ التَّيَّارِ ، أَوْ لِمَنْعِ مُرُورِ التَّيَّارِ أَوْ لِلسَّمَاحِ بِمُرُورِهِ فِى اتِّجَاهٍ وَاحِدٍ . وَفِى التَرانْزِسْتُورِ مِنْ نَوْعِ NPN (مُقَابِلَ أعلى)، تُوجَدُ طَبَقَةٌ مِنْ شِبْهِ الْمُوَصِّلِ الْمُوجَبِ (P) هِىَ الْقَاعِدَةُ ، بَيْنَ طَبَقَتَيْنِ سَالِبَتَيْنِ (N) هُمَا الْبَاعِثُ وَالْمُجَمِّعُ .

سِيلِيكُون — إِلِكترون حر — أَنتيمون

سَالب (N)

سِيلِيكُون — إِنْدِيُوم — ثَقْب

موجب (P)

أَشْبَاهُ الْمُوَصِّلَاتِ مِن الدَّاخِلِ

شِبْهُ الْمُوَصِّلِ السَّالِبِ (N) بِهِ فَائِضٌ مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ . وَالنَّوْعُ الْمُوجَبُ (P) تَنْقُصُهُ إِلِكْتُرُونَاتٌ ، وَبِهِ ثُقُوبٌ حَيْثُ كَانَتْ تُوجَدُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ .

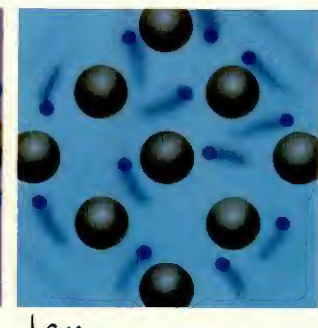




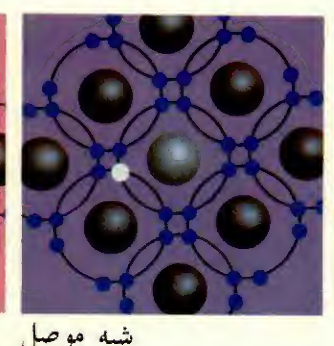
جهاز اتصال بينى

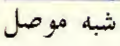
اخْتِلَافُ شِبْهِ الْمُوَصِّلِ

بِالْمُوَصِّلَاتِ إِلِكْتُرُونَاتٌ حُرَّةٌ ، وَالعَازِلَاتُ لَيْس بِهَا فِى الواقع أىٌّ منها ، أَمَّا شِبْهُ الْمُوَصِّلِ بِهِ قَلِيلٌ مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الْحُرَّةِ ، وَالثُّقُوبُ (دائرة بيضاء) تَتْرُكُهَا الْإِلِكْتُرُونَاتُ الْحُرَّةُ مَكَانَهَا . وَالثُّقُوبُ وَالْإِلِكْتُرُونَاتُ تُوَصِّلُ التَّيَّارَ .

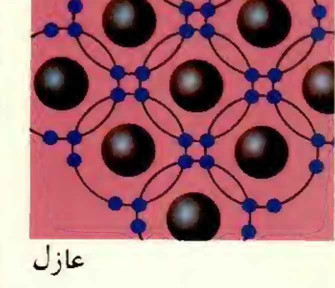


موصل

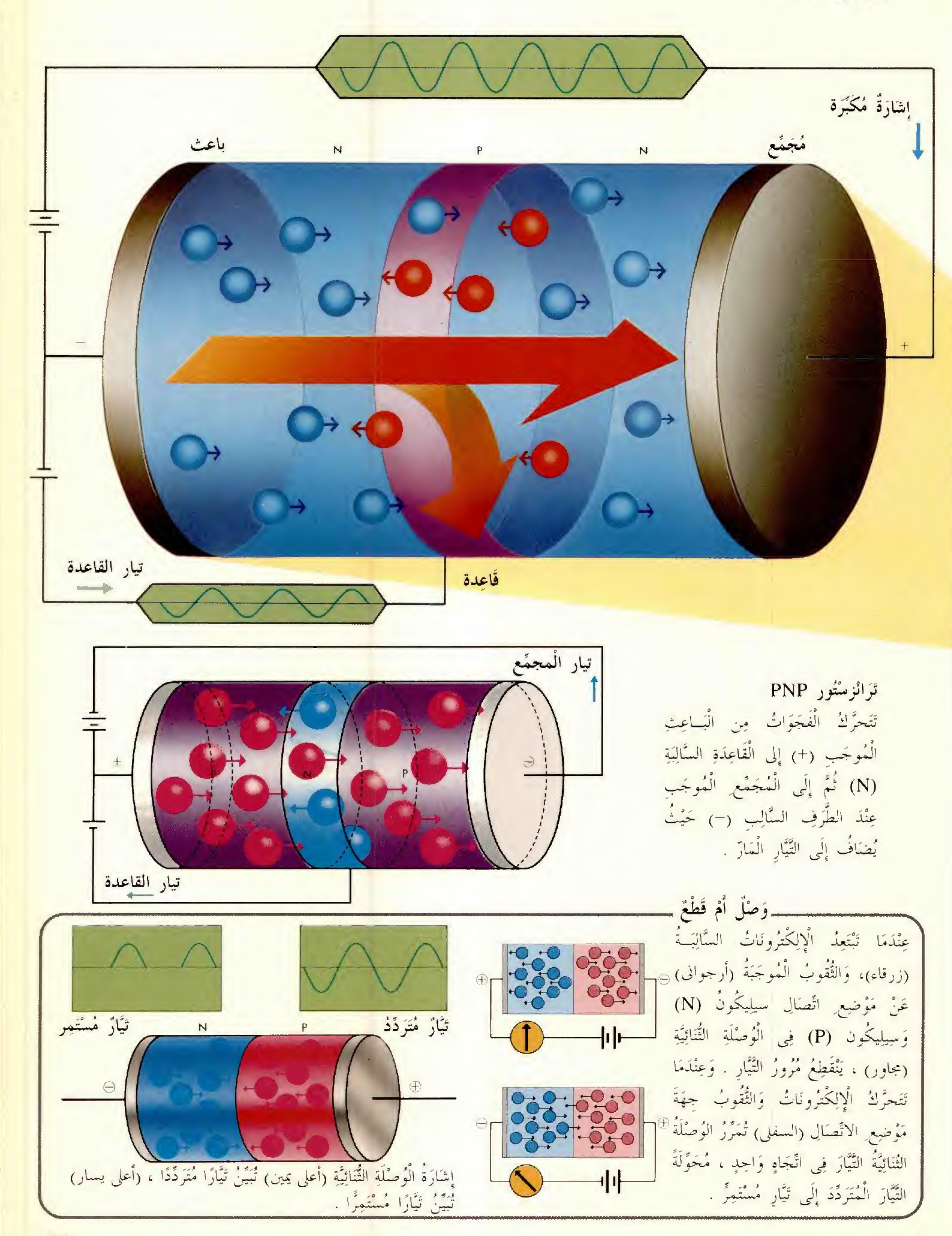




شبه موصل



عازل



تَرَانْزِسْتُور PNP

تَتحرَّكُ الْفَجوَاتُ مِن الْبَاعِثِ الْموجَبِ (+) إلى الْقاعِدَةِ السَّالِبَةِ (N) ثُمَّ إلَى الْمُجمِّعِ الْموجَبِ عِنْدَ الطَّرَفِ السَّالِبِ (−) حَيْثُ يُضافُ إلَى التَّيَّارِ الْمَارِّ .

وَصْلٌ أمْ قَطْعٌ

عِنْدَمَا تَبْتَعِدُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ السَّالِبَةُ (زرقاء)، وَالثُّقُوبُ الْمُوجَبَةُ (أرجوانى) عَنْ مَوْضِعِ اتِّصَالِ سيلِيكُونُ (N) وَسِيلِيكُون (P) فِى الْوُصْلَةِ الثُّنائِيَّةِ (مجاور) ، يَنْقَطِعُ مُرُورُ التَّيَّارِ . وَعِنْدَمَا تَتحرَّكُ الْإِلِكْتُرونَاتُ وَالثُّقُوبُ جِهَةَ مَوْضِعِ الاتِّصَالِ (السفلى) تُمَرِّرُ الْوُصْلَةُ الثُّنَائِيَّةُ التَّيَّارَ فِى اتِّجاهٍ وَاحِدٍ ، مُحَوِّلَةً التَّيَّارَ الْمُتَرَدِّدَ إلَى تَيَّارٍ مُسْتَمِرٍّ .

إشَارَةُ الْوُصْلَةِ الثُّنَائِيَّةِ (أعلى يمين) تُبَيِّنُ تَيَّارًا مُتَرَدِّدًا ، (أعلى يسار) تُبَيِّنُ تَيَّارًا مُسْتَمِرًا .

كيفَ تُرسَلُ الْكَهرباءُ إلى المنازِلِ ؟

تأْتِى الْكَهْرَبَاءُ الْمُسْتَخْدَمَةُ فِى الْمَنَازِلِ مِنْ مَحَطَّاتِ تَوْلِيدٍ كَبِيرَةٍ لِلْكَهْرَبَاءِ . وَمَحَطَّاتُ الْقُوَى الْكَهْرَبِيَّةُ هَذِهِ تَنْقُلُ الْكَهْرَبَاءَ إِلَى مَحَطَّاتٍ فَرْعِيَّةٍ حَيْثُ تُوزَّعُ إِلَى الْمُسْتَهْلِكِينَ .

وَلِأَنَّ خُطُوطَ نَقْلِ الْكَهْرَبَاءِ تُقَاوِمُ التَّيَّارَ الْكَهْرَبِيَّ ، فَإِنَّ التَّيَّارَ يَفْقِدُ بَعْضَ طَاقَتِهِ عَلَى شَكْلِ حَرَارَةٍ . وَتَتَوَقَّفُ الْقُدْرَةُ الْمَفْقُودَةُ عَلَى سَرَيَانِ التَّيَّارِ . فَالتَّيَّارُ الْمُسْتَمِرُّ (DC) يَسْرِى فِى اتِّجَاهٍ وَاحِدٍ ، أَمَّا التَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ (AC) فَيُبَدِّلُ مَسَارَهُ بِانْتِظَامٍ . وَمُنْذُ سَنَوَاتٍ عَدِيدَةٍ ، كَانَتْ مَحَطَّاتُ الْقُوَى تُنْتِجُ تَيَّارًا مُسْتَمِرًّا . وَكَانَ يَصِلُ إِلَى الْمُسْتَهْلِكِينَ وَقَدْ فَقَدَ ٤٥٪ مِن شِدَّتِهِ نَتِيجَةَ الْمُقَاوَمَةِ . كَمَا أَنَّ مَحَطَّاتِ الْقُوَى الآمِنَةَ كَانَتْ تَنْقُلُهُ بِجُهُودٍ مُنْخَفِضَةٍ ، وَذَلِكَ لِأَنَّهُ مِنَ الصَّعْبِ السَّيْطَرَةُ عَلَى نَقْلِ التَّيَّارِ الْمُسْتَمِرِّ . وَكَانَ الْحَلُّ هُوَ نَقْلَ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ عَالِى الْجُهْدِ . وَلِأَنَّ نَقْلَ الْجُهْدِ الْعَالِى يَتَطَلَّبُ تَيَّارًا أَقَلَّ لِنَفْسِ الْقُدْرَةِ ، فَإِنَّهَا لَاتَفْقِدُ إِلَّا طَاقَةً قَلِيلَةً نَتِيجَةً لِلْمُقَاوَمَةِ . وَعِنْدَمَا يُغَادِرُ التَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ مَحَطَّةَ الْقُوَى ، فَإِنَّ الْمُحَوِّلَاتِ الرَّافِعَةَ تَزِيدُ جُهْدَهُ من ٢٢٠٠٠ إلى ٧٦٥٠٠٠ فولت ، ثُمَّ تَخْفِضُ الْمُحَوِّلَاتُ الْخَافِضَةُ جُهْدَهُ إِلَى ١١٠ أو ٢٢٠ فولت الْمُسْتَخْدَمَةَ فِى الْمَنَازِلِ .

الْمُحَوِّلَاتُ تَرْفَعُ أَوْ تَخْفِضُ الْجُهْدَ الْكَهْرَبِيَّ لِلتَّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ . فَيَدْخُلُ التَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ إِلَى مِلَفٍّ ابْتِدَائِيٍّ مَلْفُوفٍ حَوْلَ قَلْبٍ مِنَ الْحَدِيدِ . وَحَرَكَةُ التَّيَّارِ ذَهَابًا وَإِيَابًا تُغَيِّرُ الْمَجَالَ الْمَغْنَاطِيسِيَّ فِى الْقَلْبِ . وَعِنْدَمَا يَتَحَرَّكُ هَذَا الْمَجَالُ حَوْلَ الْمَلَفِّ الثَّانَوِيِّ ، يَتَوَلَّدُ فِيهِ تَيَّارٌ مُتَرَدِّدٌ . وَإِذَا كَانَ عَدَدُ لَفَّاتِ الْمِلَفِّ الثَّانَوِيِّ أَكْبَرَ مِنْ عَدَدِ لَفَّاتِ الْمِلَفِّ الابْتِدَائِيِّ ، كَانَ الْجُهْدُ الْخَارِجُ أَكْبَرَ مِنَ الْجُهْدِ الدَّاخِلِ .

الْمُحَوِّلَاتُ الرَّافِعَةُ

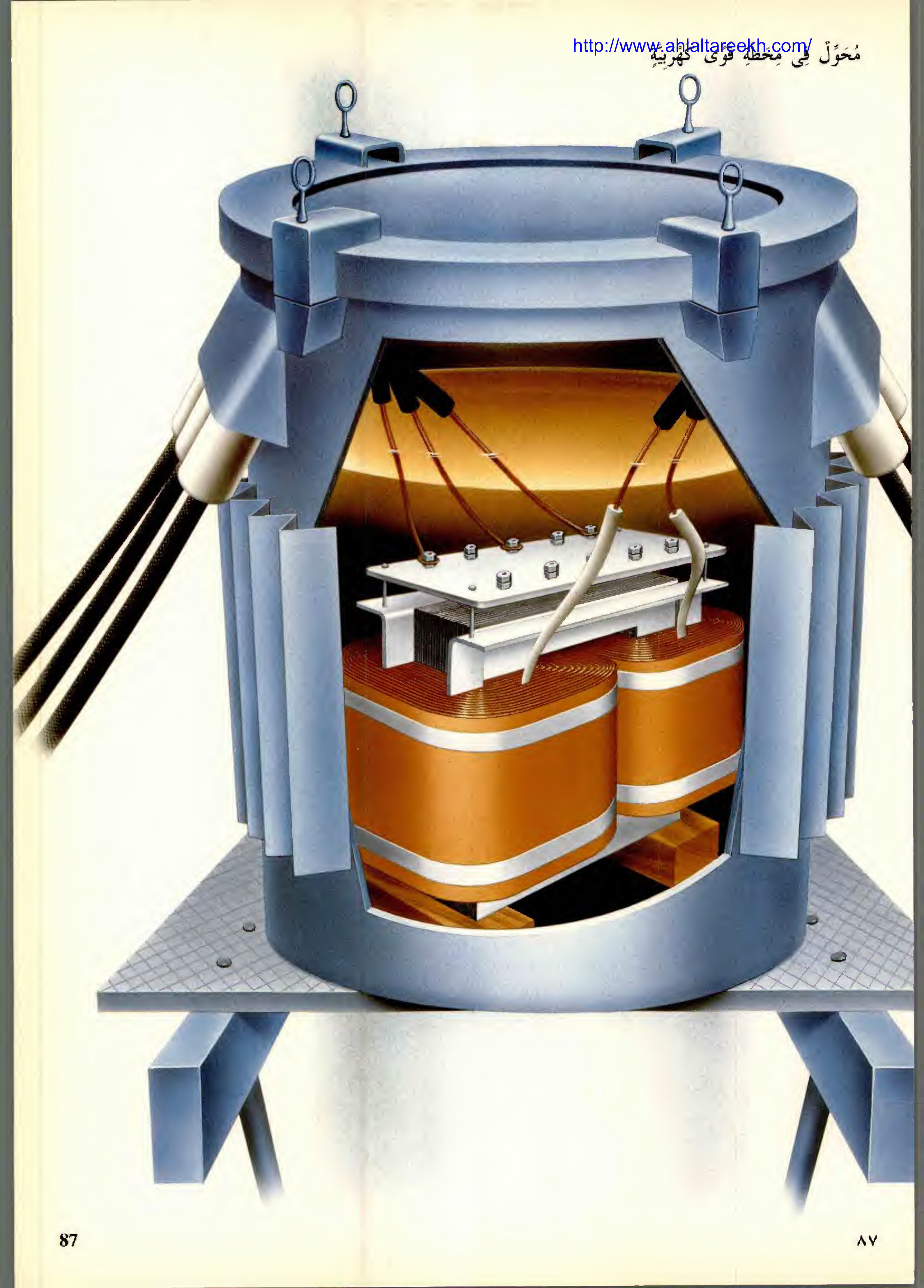
الْقُدْرَةُ الْمَفْقُودَةُ لِلتَّيَّارِ الْمُسْتَمِرِّ

تُحْسَبُ الْقُدْرَةُ الْكَهْرَبِيَّةُ (P) بِضَرْبِ شِدَّةِ التَّيَّارِ فِى الْجُهْدِ . أى $P=I\times V$. فَإِذَا زَادَ الْجُهْدُ ، فَإِنَّ التَّيَّارَ الْمَطْلُوبَ لِنَفْسِ الْقُدْرَةِ يَقِلُّ . وَلِأَنَّ جُهْدَ التَّيَّارِ الْمُسْتَمِرِّ يَكُونُ مُنْخَفِضًا . فَإِنَّهُ يَلْزَمُ تَيَّارٌ مُسْتَمِرٌّ أَكْبَرُ لِيُوَلِّدَ نَفْسَ الْقُدْرَةِ الْكَهْرَبِيَّةِ الَّتِى يُوَلِّدُهَا التَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ الْعَالِى الْجُهْدِ .

تَغيُّر التَّيار الْمُتردد

يُبَدِّلُ التَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ اتِّجَاهَهُ بِخِلَافِ التَّيَّارِ الْمُسْتَمِرِّ . فَإِذَا دَخَلَ تَيَّارٌ مُتَرَدِّدٌ الْمِلَفَّ الابْتِدَائِيَّ لِمُحَوِّلٍ (قريب) فَإِنَّ تَبَدُّلَاتِ التَّيَّارِ تُوَلِّدُ مَجَالًا مَغْنَاطِيسِيًّا مُتَغَيِّرًا وَتَيَّارًا فِى الْمِلَفِّ الثَّانَوِيِّ . وَإِذَا اسْتُبْدِلَ بِتَيَّارٍ مُسْتَمِرٍّ (بعيد) يَتَوَلَّدُ تَيَّارٌ ثَابِتٌ .

مُحَوِّلٌ فِي مَحَطَّةِ قُوًى كَهْرَبِيَّةٍ



كَيْفَ تَنْتَقِلُ الْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةُ ؟

فِي كُلِّ مَرَّةٍ يُغَيِّرُ فِيهَا التَّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ سُرْعَتَهُ أَوْ مَسَارَهُ ، فَإِنَّهُ يُوَلِّدُ مَوْجَاتٍ كَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةً ، وَهِيَ تَمَوُّجَاتٌ لِقُوَّةٍ مَغْنَاطِيسِيَّةٍ وَكَهْرَبِيَّةٍ . وَأَحَدُ أَمْثِلَتِهَا هُوَ التَّيَّارُ الْمُتَغَيِّرُ فِي هَوَائِيِّ الإِرْسَالِ اللَّاسِلْكِي ، الَّذِي يُوَلِّدُ حَلْقَاتٍ مُتَمَدِّدَةً مِنْ مَوْجَاتِ اللَّاسِلْكِي (أسفل) . وَتُنْسَبُ طَاقَةُ أَيِّ مَوْجَةٍ كَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةٍ إِلَى طُولِهَا ، وَهُوَ الْمَسَافَةُ بَيْنَ قِمَّتَيْنِ مُتَتَالِيَتَيْنِ . وَكُلَّمَا كَانَت الْمَوْجَةُ أَقْصَر ، كُلَّمَا زَادَتْ طَاقَتُهَا . وَمِنَ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسيَّةِ بِالتَّرْتِيبِ التَّنَازُلِيِّ لِطُولِهَا الْمَوْجِيِّ ، مَوْجَاتُ اللَّاسِلْكِيِّ ، وَالْأَشِعَّةُ تَحْتَ الْحَمْرَاءُ ، وَالضَّوْءُ الْمَرْئِيُّ ، وَالْأَشِعَّةُ فَوْقَ الْبَنَفْسَجِيَّةِ ، وَالْأَشِعَّةُ السِّينِيَّةُ ، وَأَشِعَّةُ جَامَا . وَيَبْلُغُ طُولُ مَوْجَةِ أَشِعَّةِ جَامَا ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ متر (جُزْء مِن مائة بِلْيون من المتر) بَيْنَمَا قَدْ يَصِلُ طُولُ مَوْجَةِ اللَّاسِلْكِيِّ إِلَى بِضْعَةِ أَمْيَالٍ .

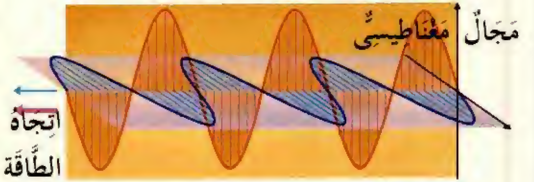
وَتَنْتَشِرُ الْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةُ بِسُرْعَةِ الضَّوْءِ ، وَيَكُونُ مَجَالُهَا الْمَغْنَاطِيسِيُّ عَمُودِيًّا عَلَى مَجَالِهَا الْكَهْرَبِيِّ وَعَلَى اتِّجَاهِ انْتِشَارِهَا (أقصى يسار ــ أعلى)

مِيكَانِيكِيَّةُ الْمَوْجَاتِ

مِثْلُ مَوْجَاتٍ تُسَبِّبُهَا حَصْوَةٌ أُلْقِيتْ فِي بِرْكَةِ مَاءٍ ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةَ تُشِعُّ دَوَائِرَ مُسْتَمِرَّةَ الاتِّسَاعِ مِنْ هَوَائِيِّ الإِرْسَالِ لِرَادْيُو ذِي طَرِيقَيْنِ . وَالتَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ فِي الْهَوائِيِّ يُوَلِّدُ مَوْجَاتٍ تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجَالَاتٍ كَهْرَبِيَّةٍ وَمَغْنَاطِيسِيَّةٍ .

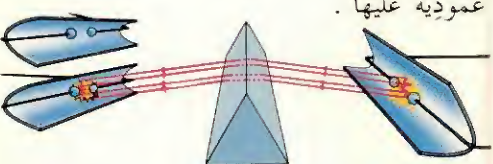
رَسْمُ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومغْنَاطِيسيَّةِ

تَنْتَشِرُ الْموجَاتُ الْكَهْرُومغْنَاطِيسيَّةُ فِى خُطُوطٍ مُسْتَقِيمَةٍ ، بِحَيْثُ تَكُونُ الْمَجَالَاتُ الْكَهْرَبِيَّةُ وَالْمَغْنَاطِيسِيَّةُ عَمُودِيَّةً عَلَى اتِّجاهِ سَرَيَانِ الطَّاقَةِ .
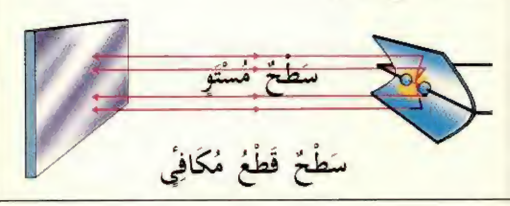


انْكِسَارُ الْمَوْجَاتِ

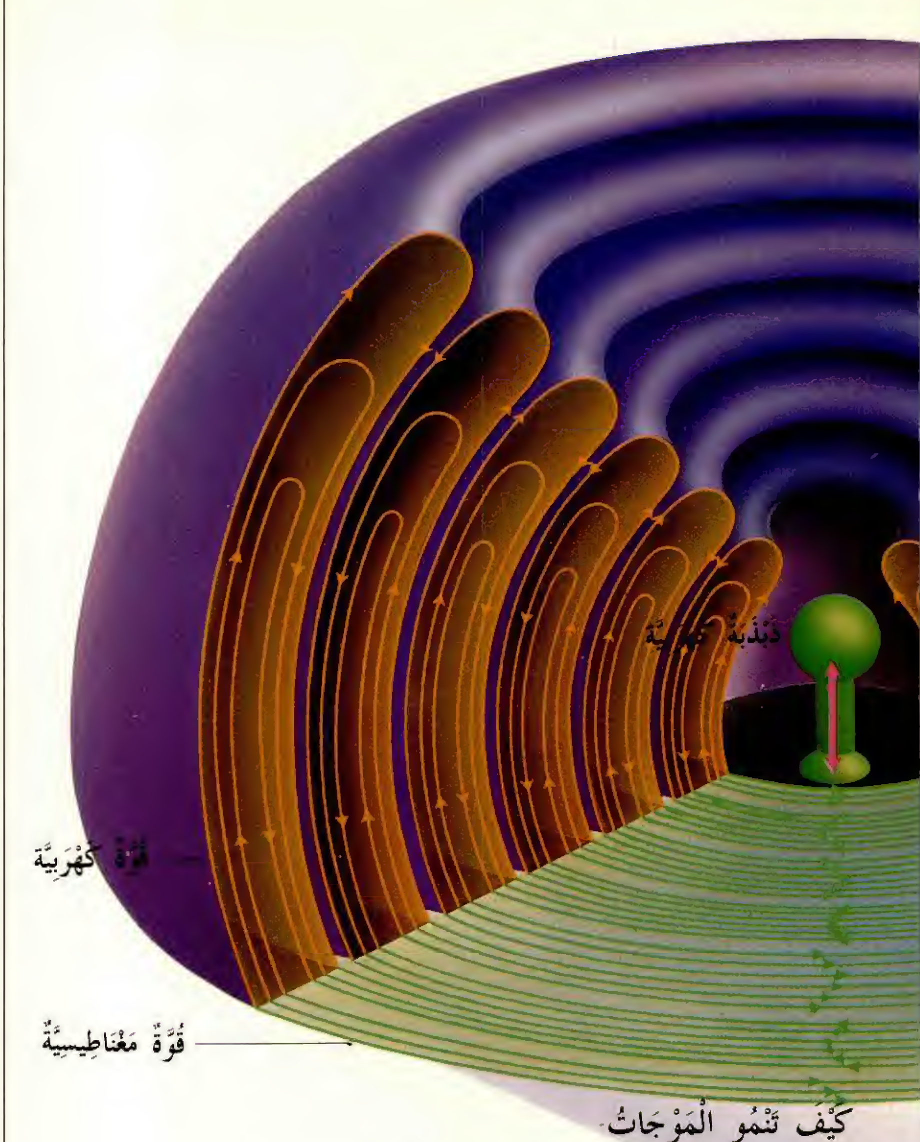
مِثْلُ الضَّوْءِ ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومغْنَاطِيسيَّةَ تُبْطِئُ وَتَنْحنِى عِنْدَمَا تَمُرُّ خِلَالَ مَوَادَّ لَيْسَتْ عَمُودِيَّةً عَلَيْهَا .



انْعِكَاسُ الْمَوْجَاتِ

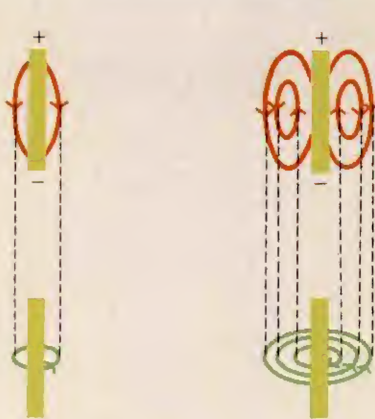
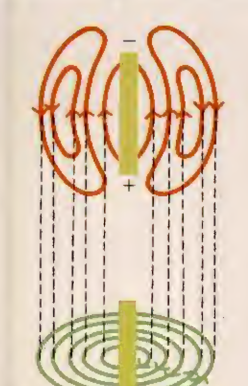
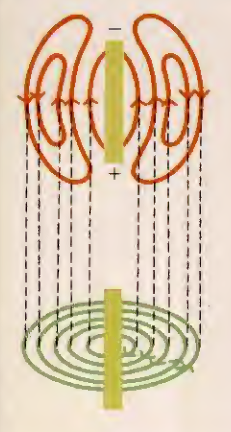
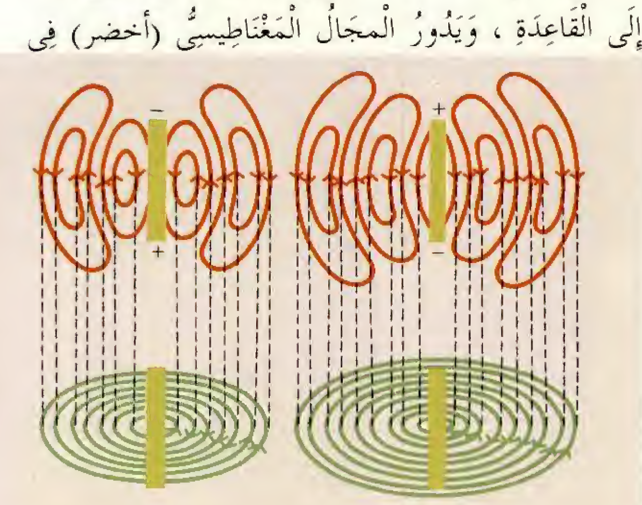
إِذَا اصْطَدَمَت الْمَوْجاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِيَّةُ بِسَطْحٍ مَعْدِنِيٍّ عَلَى شَكْلِ قَطْعٍ مُكَافِئٍ ، فَإِنَّهَا تَنْعَكِسُ مُتَجَمِّعَةً فِى نُقْطَةٍ .





كَيْفَ تَنْمُو الْمَوْجَاتُ

تَنْشَأُ الْمَوْجَةُ الْمُعَقَّدَةُ الْمُنْبَعِثَةُ مِنْ هَوَائِىٍّ مُرْسِلٍ ، مِنْ تَبَدُّلٍ وَاحِدٍ فِى التَّيَّارِ . وَعِنْدَمَا يَمُرُّ التَّيَّارُ إِلَى أَعْلَى الْهَوَائِىِّ ، فَإِنَّ الْمَجَالَ الْكَهْرَبِىَّ (أحمر) يَتَحَرَّكُ مِن الْقِمَّةِ إِلَى الْقَاعِدَةِ ، وَيَدُورُ الْمَجَالُ الْمَغْنَاطِيسِىُّ (أخضر) فِى

اتِّجَاهٍ مُضَادٍّ لِحَرَكَةِ عَقْرَبِى السَّاعَةِ . وَعِنْدَمَا يَنْعَكِسُ اتِّجَاهُ التَّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ (أوسط) تَتَّسِعُ دَوَائِرُ الْمَجَالَاتِ الْمُتَكَوِّنَةِ ، وَتَتَكَوَّنُ مَجَالَاتٌ كَهْرَبِيَّةٌ وَمَغْنَاطِيسِيَّةٌ جَدِيدَةٌ فِى الاتِّجَاهَاتِ الْمُضَادَّةِ .

هَلْ يُمْكِنُ الْحُصُولُ عَلَى طَاقَةٍ أُخْرَى مِنَ الذَّرَّاتِ ؟

التَّيَّارُ الَّذِى يُدِيرُ الْآلَاتِ وَيُوَلِّدُ الْكَهْرَبِيَّةَ الْمَغْنَاطِيسِيَّةَ ، هُوَ فَقَطْ أَحَدُ صُوَرِ الطَّاقَةِ النَّاتِجَةِ عَنِ الْخَوَاصِّ الْكَهْرَبِيَّةِ لِلذَّرَّةِ . وَمِنَ الصُّوَرِ الْأُخْرَى النَّشَاطُ الْإِشْعَاعِيُّ ، وَهُوَ الطَّاقَةُ الْمُتَحَرِّرَةُ عِنْدَمَا تَتَحَطَّمُ نَوَاةُ الذَّرَّةِ . وَتَتَكَوَّنُ الذَّرَّاتُ مِنْ إِلِكْتُرُونَاتٍ سَالِبَةٍ ، وَبُرُوتُونَاتٍ مُوجَبَةٍ ، وَجُسَيْمَاتٍ مُتَعَادِلَةٍ تُسَمَّى النِّيُوتْرُونَاتِ . وَتَرْتَبِطُ الْبُرُوتُونَاتُ وَالنِّيُوتْرُونَاتُ مَعًا فِى النَّوَاةِ بِقُوَى غَيْرِ ظَاهِرَةٍ وَلَكِنَّهَا هَائِلَةُ الشِّدَّةِ . وَتَتَحَلَّلُ مُعْظَمُ أَنْوِيَةِ الذَّرَّاتِ بِمُرُورِ الْوَقْتِ ، وَتَنْطَلِقُ بَعْضُ الطَّاقَةِ عَلَى صُورَةِ دَقَائِقِ أَلْفَا وَبِيتَا الْعَالِيَةِ الطَّاقَةِ وَأَشِعَّةِ جَامَا . وَهَذِهِ الْإِشْعَاعَاتُ لَا تُرَى ، وَلَكِنْ يُمْكِنُ كَشْفُهَا بِأَجْهِزَةٍ إِلِكْتُرُونِيَّةٍ . وَعَدَّادُ جِيجَر ، هُوَ أَكْثَرُ أَنْوَاعِ كَشَّافَاتِ الْإِشْعَاعِ شُيُوعًا ، وَهُوَ يُحَوِّلُ طَاقَةَ الْإِشْعَاعِ إِلَى إِشَارَاتٍ إِلِكْتُرُونِيَّةٍ يُمْكِنُ قِيَاسُهَا .

الْكَشْفُ عَنِ الْإِشْعَاعِ

إِلِكْتُرُون حُرّ

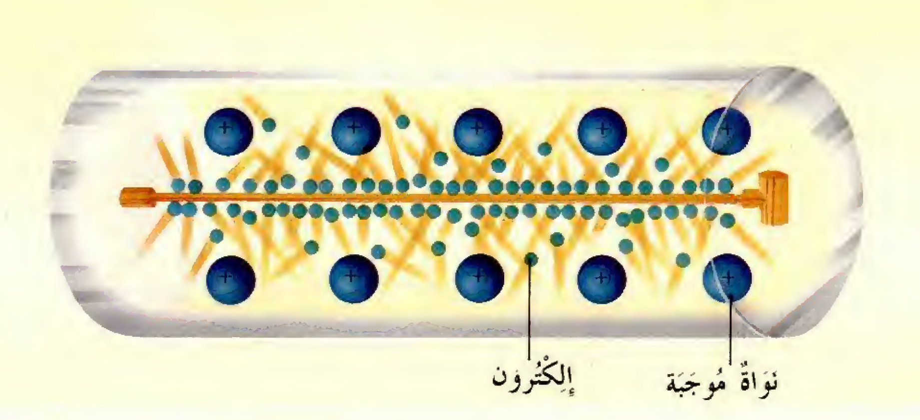
ذَرَّةُ غَازٍ

إِلِكْتُرُون حُرّ

إِلِكْتُرُون حُرّ

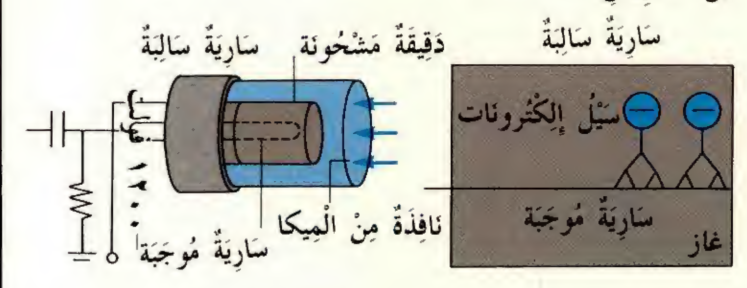
كَيْفَ يَعْمَلُ عَدَّادُ جِيجَر

عِنْدَمَا تَصْطَدِمُ دَقِيقَةٌ مِنْ نَوَاتِجِ نَشَاطٍ إِشْعَاعِيٍّ بِذَرَّةِ غَازٍ ، فَإِنَّهَا تُحَرِّرُ إِلِكْتُرُونًا مِنْ ذَرَّةِ الْغَازِ . وَيَنْتَقِلُ هَذَا الْإِلِكْتُرُونُ إِلَى السَّارِيَةِ مُوجَبَةِ الْجُهْدِ فِى الْوَسَطِ وَلَكِنَّهُ قَدْ يَصْدِمُ ذَرَّةً أُخْرَى فِى طَرِيقِهِ . وَبِتَتَابُعِ التَّصَادُمَاتِ يَتَحَرَّرُ سَيْلٌ مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ يُسَجِّلُ نَبْضَةً كَهْرَبِيَّةً عَلَى السَّارِيَةِ فِى الْوَسَطِ .



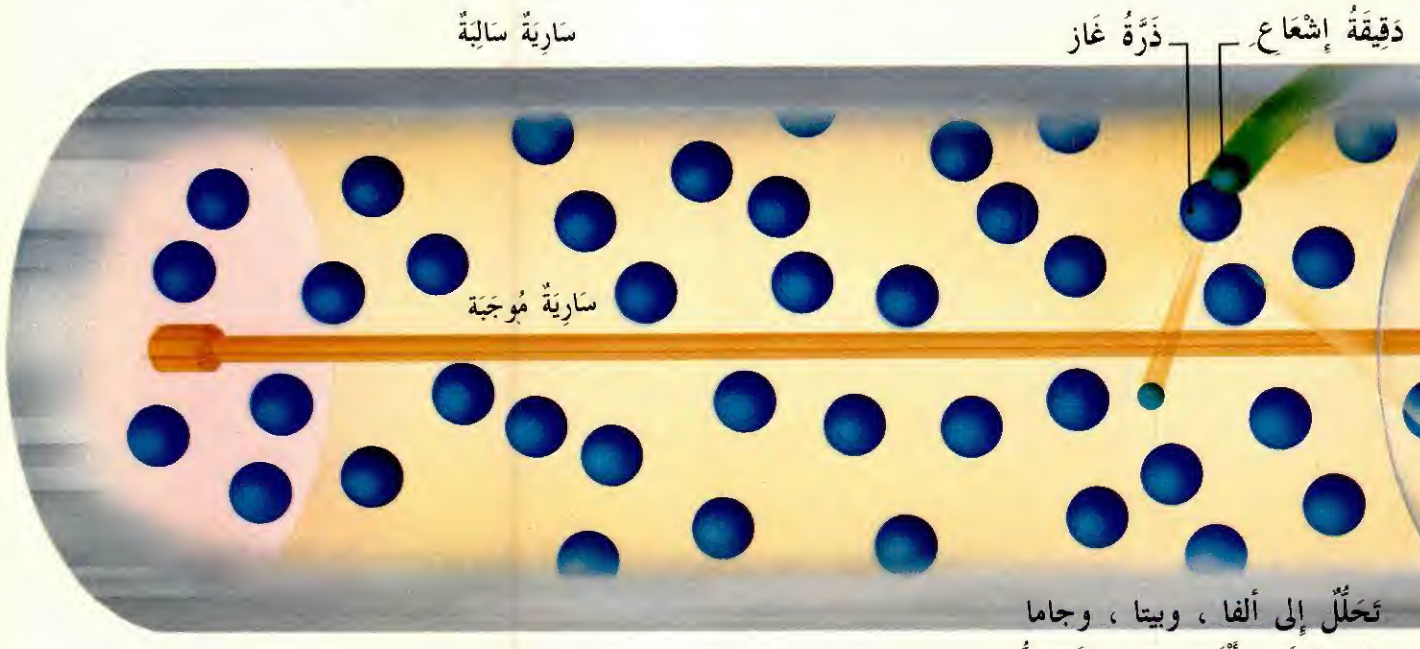
أَسَاسِيَّاتُ عَدَّادِ جِيجَر

يَعْمَلُ أُنْبُوبُ الْعَدَّادِ الْمَعْدِنِيُّ كَأُسْطُوانَةٍ لِلْغَازِ ، وَكَسَارِيَةٍ سَالِبَةٍ . وَفِي وَسَطِهَا السَّارِيَةُ الْمُوجَبَةُ . يَدْخُلُ الْإِشْعَاعُ مِنْ نَافِذَةِ الْعَدَّادِ الْمَصْنُوعَةِ مِنَ الْمِيكَا ، وَيَصْطَدِمُ بِذَرَّاتِ الْغَازِ ، فَيُحْدِثُ عَاصِفَةً مِنَ الْإِلِكْتْرُونَاتِ بَيْنَ السَّارِيَتَيْنِ .



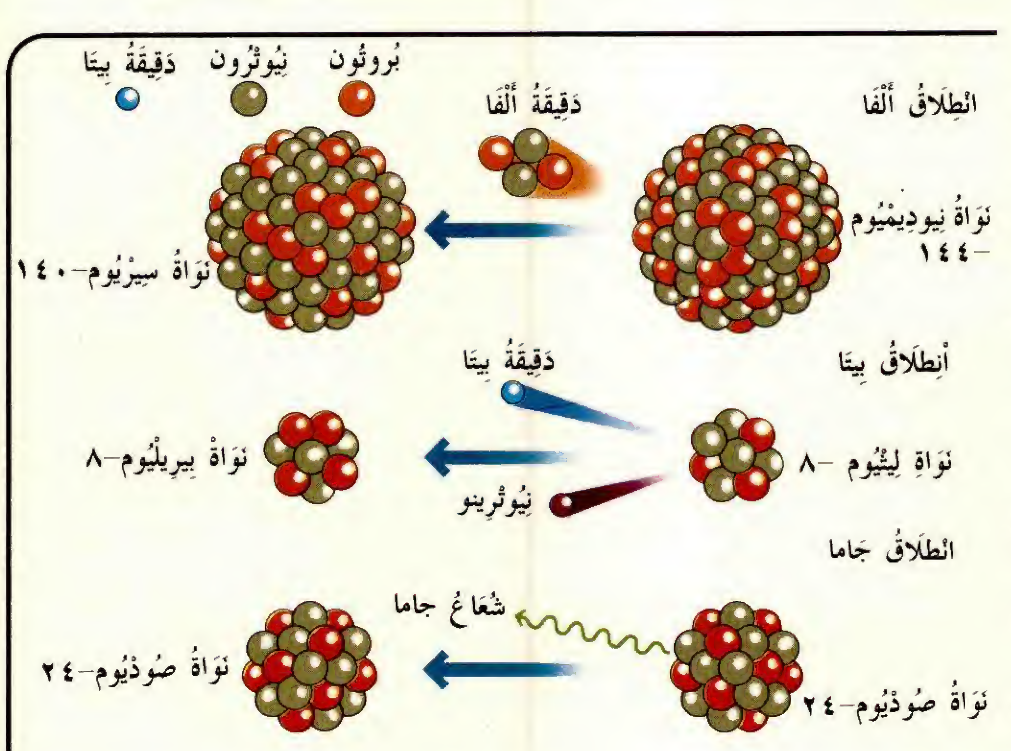


عَدَّادُ جَيْجَر وَمِقْيَاسُ النَّبضَاتِ



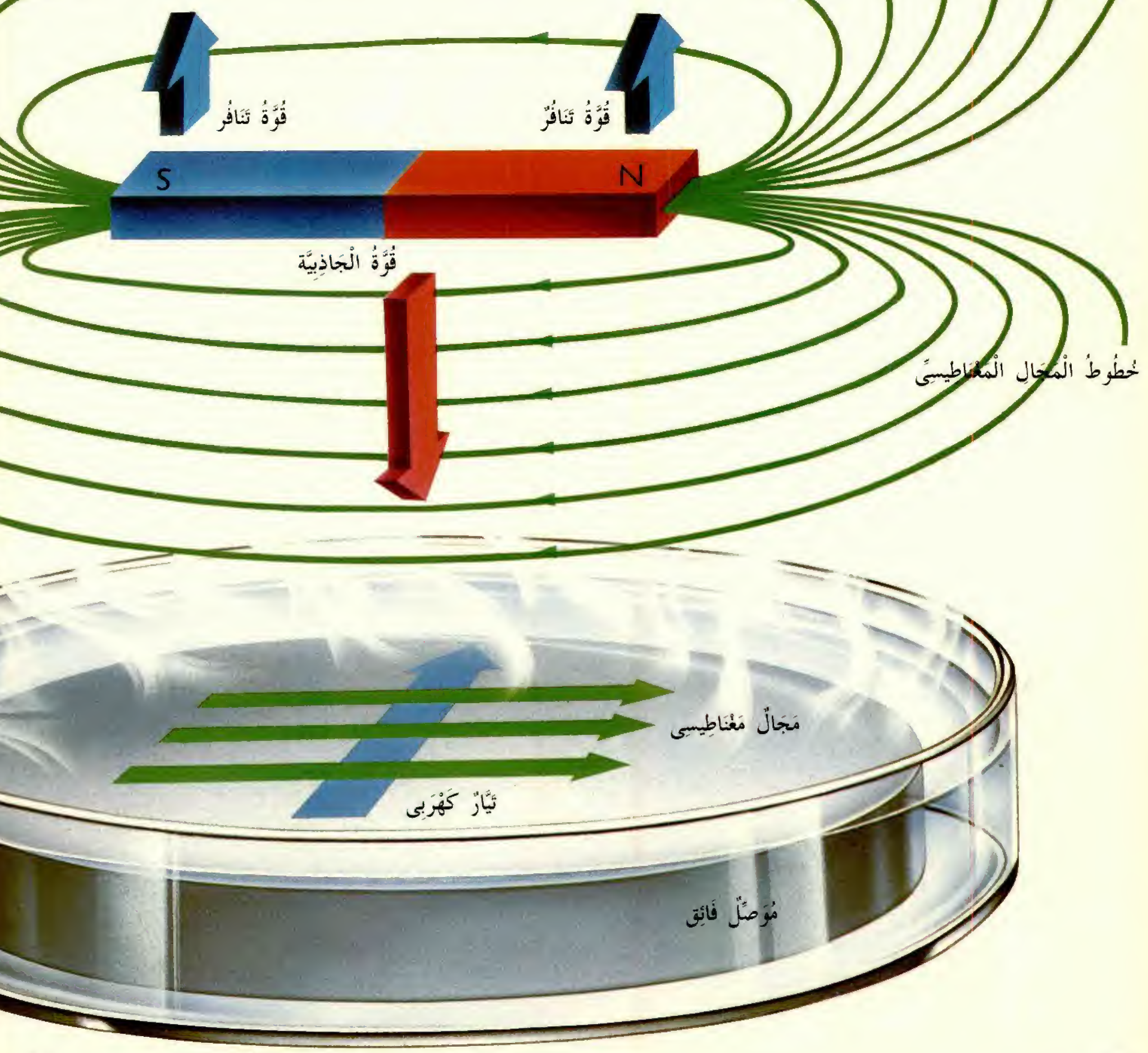
تَحَلُّلٌ إلى ألفا ، وبيتا ، وجاما

عِنْدَ انْطِلَاقِ أَلْفَا وَبِيتَا نَتِيجَةَ تَحَلُّلِ الْعُنْصُرِ ، فَإِنَّهُ يَتَحَوَّلُ إِلَى عَنَاصِرَ جَدِيدَةٍ . أَمَّا عِنْدَ انْطِلَاقِ جَامَا ، فَإِنَّ تَرْتِيبَ الْبُرُوتُونَاتِ وَالنِّيُوتْرُونَاتِ فَقَطْ يَتَغَيَّرُ . فَعِنْدَ تَحَلُّلِ نَوَاةِ نِيُودِيمْيُوم –١٤٤ (يسار — أعلى) وَانْطِلَاقِ دَقِيقَةِ أَلْفَا فَإِنَّهَا تَتَحَوَّلُ إِلَى نَوَاةِ سِيرْيُوم –١٤٠ . أَمَّا عِنْدَ انْطِلَاقِ بِيتَا (وسط)، يَتَحَوَّلُ لِيثْيُوم ٨ إِلَى بِيرِيلْيُوم ٨ عَن طَرِيقِ تَحَوُّلِ نِيُوتْرُون فِي اللِّيثْيُوم إِلَى بُرُوتُون وَانْطِلَاقِ دَقِيقَةِ بِيتَا وَدَقِيقَةٍ مُتَعَادِلَةٍ تُسَمَّى نِيُوتْرِينُو . وَانْطِلَاقُ جَامَا (أسفل) مِثْلُ انْطِلَاقِ الطَّاقَةِ النَّوَوِيَّةِ الزَّائِدَةِ فِي ذَرَّةِ صُودْيُوم –٢٤ عَلَى شَكْلِ أَشِعَّةِ جَامَا ، وَلَكِنَّ الذَّرَّةَ لَا تَتَغَيَّرُ .



ما هى فَرْطُ الْمُوصِّلِيَّةِ (الْموصِّليةُ الفائقة) ؟

الْمُوصِلِيَّةُ الفائِقةُ مِنْ بَيْنِ اكْتِشافَاتِ الْقَرْنِ الْعِشْرِين الْمُثِيرةِ . فَبَعْضُ الْمَوادِّ عِنْدَ تَبْرِيدِهَا الشَّدِيد ، يَكُونُ لَهَا الْقُدْرَةُ عَلَى تَوْصِيلِ الْكَهْرَبِيَّةِ دُونَ مُقاوَمَةٍ ، فَيَجْعَلُهَا هَذا فائِقَةَ التَّوْصِيلِ . فَفِى عَامِ ١٩١١ ، عِنْدَمَا كَانَ أَحَدُ فِيزْيَائِيِّ هُولَنْدَا هِيك كامِرْلِنْج أُونْز يَسْتَخْدِمُ الْهِيلْيُومَ لِتَبْرِيدِ سِلْكِ زِئْبَقٍ إِلَى ٤° مطْلَقَة (-٢٦٩°م أو -٥٤٣°ف)، بَهَرَهُ مُرُورُ التَّيَّارِ خِلالَ السِّلْكِ دُونَ أَىِّ مُقَاوَمَةٍ . وَالْيَومَ ، يُمْكِنُ لِلْعُلَماءِ تَوْلِيدُ مَوادَّ تُظْهِرُ فَرْطَ الْمُوصِلِيَّةِ فِى دَرَجاتِ حَرارَةٍ أَعْلَى حَتَّى ١٠٠° مُطْلَقَةٍ (-١٧٣°م أو -٢٨٠°ف). وَقَدْ أَدْخَلَتْ هَذِهِ الْمَوَادُّ الْمُدْهِشَةُ بَعْضَ الْمَفَاهِيمِ الْمُثِيرَةِ ، مِنْهَا تَخْزِينُ الطَّاقَةِ الْمغْنَاطِيسيَّةِ فَائِقَةِ التَّوصِيلِ وَالْمُوَلِّدَاتُ فِى أَنْظِمَةِ الْقُدْرَةِ ، وَالْمَرْكَبَاتُ الَّتِى تُطلَقُ بِالْقُدْرَةِ الْكَهْرُومغْنَاطِيسِيَّةِ ، وَالْقَوارِبُ وَالْقِطَارَاتُ فَائِقَةُ الْمُوصِّلِيَّةِ ، وَكُلُّهَا تَجْمَعُ بَيْنَ التَّوْصِيلِ الْمُدْهِشِ لِلْمُوصِّلاتِ الْفائِقَةِ وَخَواصِّهَا الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ الشَّاذَّةِ ، فَالْمُوصِّلاتُ الْفَائِقَةُ عِنْدَ وَضْعِهَا فِى مَجالٍ مَغْنَاطِيسِيٍّ فَإِنَّهَا تُوَلِّدُ مَجالَهَا الْمَغْنَاطِيسِىَّ الْخَاصَّ الْمُشابِهَ ، فَتَجْعَلُ الْأَجْسامَ الْمُمغْنَطَةَ تَحُومُ فَوْقَهَا .



مُقاوَمَةٌ كَهْرِبِيَّة

مُوَصِّلٌ فائِق

مُوَصِّلٌ فائِق

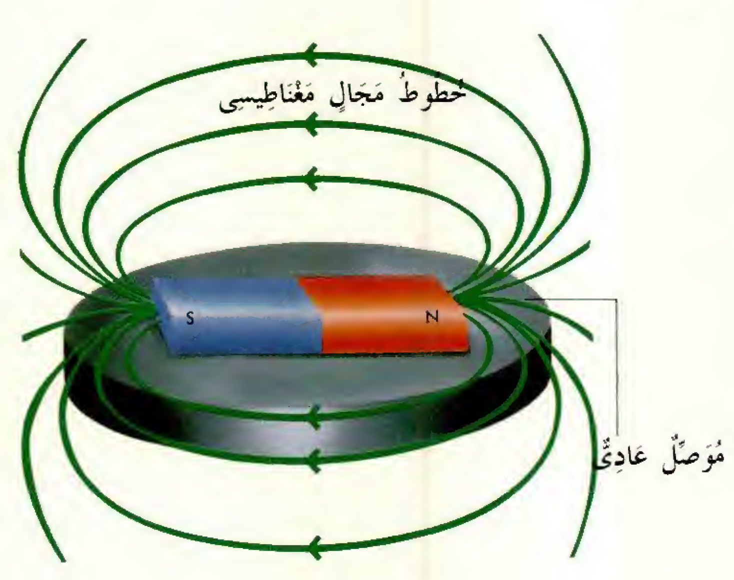
نُقْطَةُ الانْتِقال

دَرَجَةُ الْحَرارَة

تَقِلُّ الْمُقاوَمَةُ بِانْخِفاضِ دَرَجَةِ حَرارَةِ الْمُوَصِّلاتِ الْعادِيَّةِ (أرجوانى)، وَلكِنَّ الْمُوَصِّلَ الْفائِقَ (أزرق) عِنْدَما تَصِلُ دَرَجَةُ حَرارَتِهِ إِلى نُقْطَةِ الانْتِقالِ تَهْبِطُ مُقاوَمَتُهُ الْكَهْرَبِيَّةُ فَجْأَةً إِلى الصِّفْرِ .

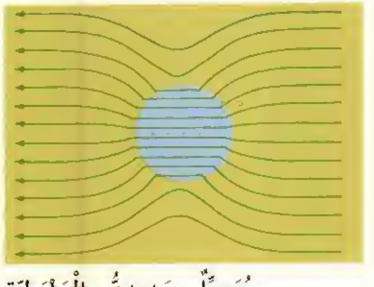
مُوَصِّلاتٌ تَقْلِيدِيَّة

تَنْقُلُ الْمُوَصِّلاتُ الْعادِيَّةُ التَّيّارَ بِكَفاءَةٍ أَقَلَّ مِنَ الْمُوَصِّلاتِ الْفائِقَةِ (أسفل)، كَما أَنَّها لاتَتَمَتَّعُ بِخَواصِّ التَّنافُرِ السِّحْرِيَّةِ لِلْمُوَصِّلاتِ الْفائِقَةِ (مقابل) .

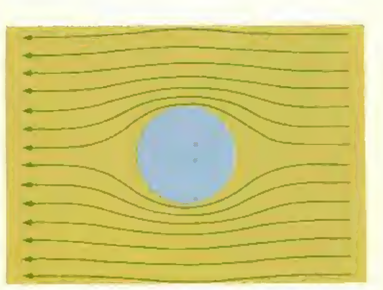


تَأْثِيرُ مِيسْنَر

تَخْتَلِفُ الْخَواصُّ الْمَغْناطِيسِيَّةُ لِمُوَصِّلٍ فائِقٍ عَنْها لِمُوَصِّلٍ حَدِيدِىِّ الْمَغْنَطِيَّةِ مِثْلِ الْحَدِيدِ . فَإِذا وُضِعَت الأَخِيرَةُ فِى مَجالٍ مَغْناطِيسِىٍّ فَإِنَّها تَنْجَذِبُ إِلَى الْمَغْناطِيسَاتِ . أَمَّا الْمُوَصِّلاتُ الْفائِقَةُ فَتَتَنافَرُ مَعَ الْمَغْناطِيسَاتِ وَيُسَمَّى هَذا تَأْثِيرَ مِيسْنَر .



مُوَصِّلٌ حَدِيدِىُّ الْمَغْنَطِيَة



مُوَصِّلٌ عادِىٌّ

مُوَصِّلٌ فائِقٌ يُسَبِّبُ طَفْوًا

إِذا وُضِعَ مَغْناطِيسٌ فَوْقَ مُوَصِّلٍ فائِقٍ مُبَرَّدٍ بِالْهِيلْيُوم ، فَإِنَّهُ يَنْتُجُ فِى الْمُوَصِّلِ تَيّارٌ كَهْرَبِىٌّ وَمَجالٌ كَهْرُومَغْناطِيسِىٌّ يَصُدُّ الْقُوَّةَ الْمَغْناطِيسِيَّةَ لِلْمَغْناطِيسِ ، فَيَجْعَلُ الْمَغْناطِيسَ يَطْفُو (يَحُومُ) فَوْقَه .

هِيلْيُوم سائل

قِطارٌ فائِقُ الْمُوَصِّلِيَّة

أَحَدُ تَصْمِيماتِ قِطارِ الْمُسْتَقْبَلِ مِنَ الْيَابانِ ، تَقْتَرِحُ اسْتِخْدامَ الْمَغْناطِيسَاتِ فائِقَةِ الْمُوَصِّلِيَّةِ لِتَسْيِيرِ الْقِطارِ . وَالْمُوَصِّلاتُ الْفائِقَةُ تَحْتَ الْعَرَباتِ تَتَنافَرُ مَعَ الْمَجالِ الْمَغْناطِيسِىِّ لِلْمَسارِ ، فَيَرْتَفِعُ الْقِطارُ لِيَطْفُوَ . وَيَسِيرُ الْقِطارُ عَلى عَجَلاتٍ إِلى أَنْ يَبْلُغَ السُّرْعَةَ الْكافِيَةَ لِطَفْوِهِ .

تَأْثِيرُ مِيسْنَر



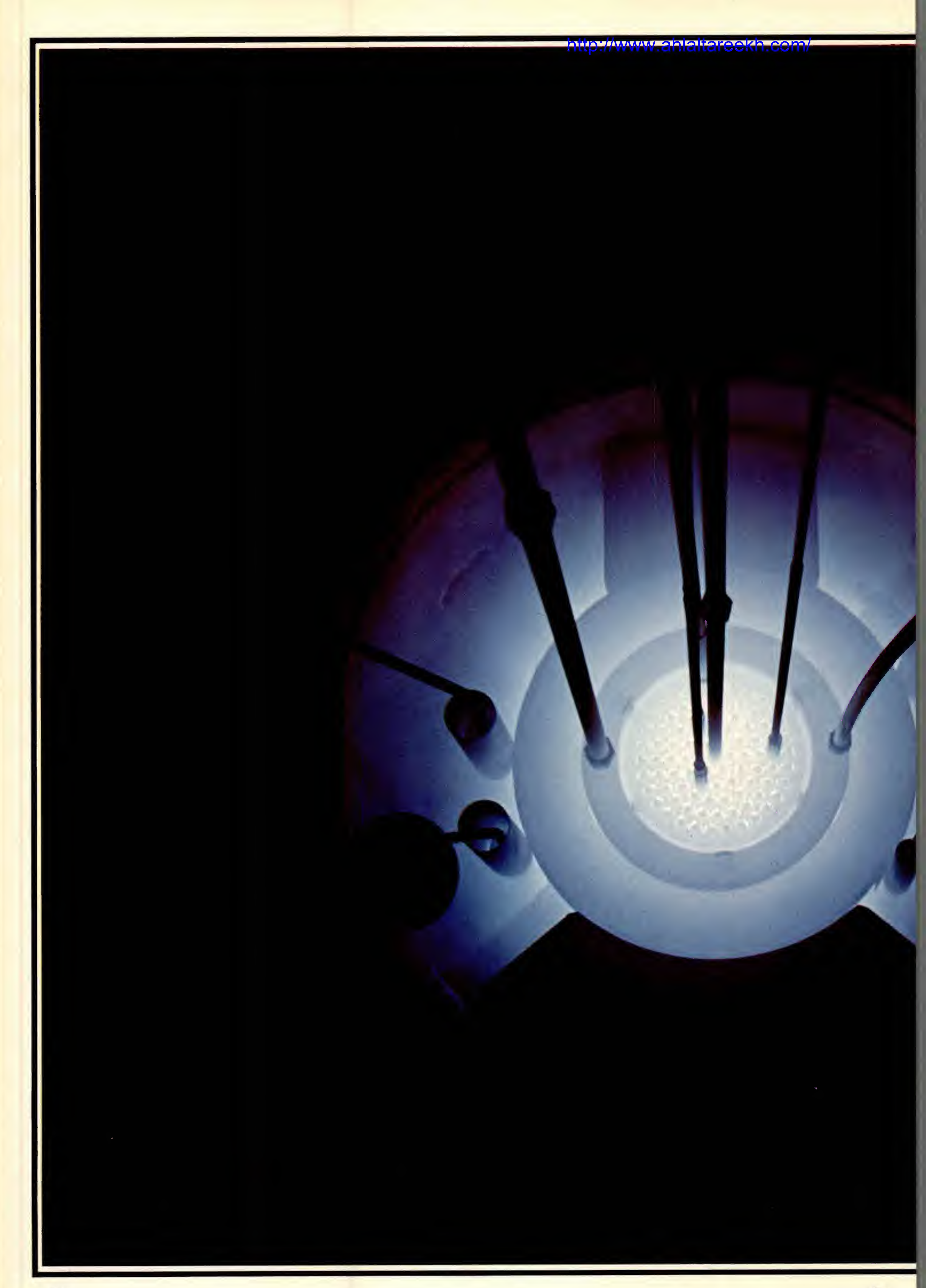
تَزْدادُ سُرْعَةُ الْمُوَصِّلاتِ الْفائِقَةِ فَوْقَ الْمَجالِ الْمَغْناطِيسِىِّ لِلْمَسارِ ، فَتَزْدادُ الْقُوَّةُ الْمَغْناطِيسِيَّةُ ، وَتَرْفَعُ الْقِطارَ ٤ بُوصاتٍ فَوْقَ الْمَسارِ .

6 تَوْلِيدُ الْكَهْرَبِيَّةِ

فِى عَامِ ١٨٣١ عِنْدَمَا كَانَ الْفِيزْيَائِىُّ الإِنْجِلِيزِىُّ مِيشِيل فَارَادَاىْ يُجْرِى تَجَارِبَ بِالْكَهْرَبَاءِ ، وَصَّلَ طَرَفَىْ جِهَازِ قِيَاسٍ كَهْرَبِىٍّ بِقُرْصٍ مِن النُّحَاسِ . فَوَضَعَ أَحَدَ الطَّرَفَيْنِ عَلَى حَافَةِ الْقُرْصِ ، وَالطَّرَفَ الآخَرَ عَلَى مِحْوَرِ الْقُرْصِ . ثُمَّ أَدَارَ الْقُرصَ بَيْنَ قُطْبَى مَغْنَاطِيسٍ قَوِىٍّ . فَسَرَى تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ فِى الدَّائِرَةِ أَثْنَاءَ دَوَرَانِ الْقُرْصِ ، وَزَادَ هَذَا التَّيَّارُ بِزِيَادَةِ سُرْعَةِ الدَّوَرَانِ . وَكَانَ هَذَا أَوَّلَ مُوَلِّدٍ كَهْرَبِىٍّ اخْتَرَعَهُ فَارَادَاى ، الذِى أَصْبَحَ فِيمَا بَعْدُ مِنْ أَشْهَرِ الْعُلَمَاءِ .

وَالْمُوَلِّدَاتُ الْكَهْرَبِيَّةُ الْحَدِيثَةُ — مِنْ أَنْوَاعِهَا الْمَحْمُولَةُ الَّتِى تُدَارُ بِالْبَنْزِينِ إِلَى مَحَطَّاتِ التَّوْلِيدِ الْهَيدْرُولِيكِيَّةِ الضَّخْمَةِ — أَكْثَرُ تَعْقِيدًا مِنْ مُوَلِّدِ فَارَادَاى وَيُنْتِجُ تَيَّارًا أَكْبَر بِكَثِيرٍ ، وَلَكِنَّهَا جَمِيعًا تَعْمَلُ طِبْقًا لِنَفْسِ النَّظَرِيَّةِ : إِذَا تَحَرَّكَ مَغْنَاطِيسٌ مَارًّا بِمَلَفٍّ مِن السِّلْكِ ، يَتَوَلَّدُ تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ فِى الْمِلَفِّ . وَتُسَمَّى هَذِهِ الظَّاهِرَةُ بِالتَّأْثِيرِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيسِىِّ . وَكَانَ عَالِمٌ هُولَنْدِىٌّ هُوَ هَانْزْ كِرِيستِيَانِ أُورْسْتِد قَد اكْتَشَفَ الْعَلاقَةَ بَيْنَ الْقُوَى الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمَغْنَاطِيسِيَّةِ عَامَ ١٨١٩ ، عِنْدَمَا لاحَظَ أَنَّ التَّيَّارَ الْكَهْرَبِىّ الْمُتَحَرِّكَ يُوَلِّدُ مَجَالًا مَغْنَاطِيسِيًّا . وَأَثْنَاءَ مُحَاوَلاتِ فَارَادَاى لِتَفْسِيرِ هَذَا التَّأْثِيرِ ، اخْتَرَعَ مُوَلِّدَهُ الْيَدَوِىَّ . وَالْيَومَ ، يَسْتَغِلُّ الْعُلَمَاءُ طَاقَةَ الْمِيَاهِ الْجَارِيَةِ ، وَالشَّمْسَ ، وَالذَّرَّاتِ ، وَالْوَقُودَ الأُحْفُورِىَّ ، وَالصُّخُورَ الْجَوْفِيَّةَ السَّاخِنَةَ ،وَالرِّيَاحَ لِتَحْرِيكِ مَغْنَاطِيسَاتٍ عَبْرَ مِلَفَّاتٍ مِن السِّلْكِ لِتَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ الَّتِى تُسَاعِدُ عَلَى تَقَدُّمِ الْمُجْتَمَعِ .

ضَوْءٌ أَزْرَقُ خَافِتٌ يَنْبَعِثُ مِن الْمَاءِ الَّذِى يُغَطِّى قَلْبَ مُفَاعِلٍ نَوَوِىٍّ فِى أَحَدِ مُوَلِّدَاتِ الْقُدْرَةِ النَّوَوِيَّةِ ، وَتَفْتِيتُ الذَّرَّاتِ هُوَ أَحَدُ طُرُقٍ كَثِيرَةٍ لإِنْتَاجِ الْقُدرَةِ اللازِمَةِ لإِدَارَةِ الْمُوَلِّدَاتِ الكَهْرَبِيَّةِ .



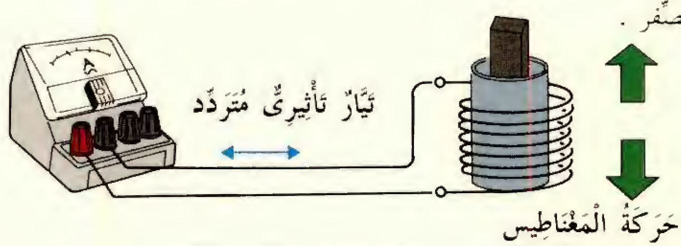
كيف يعمل مولد التيار المتردد ؟

تَيَّارٌ تَأْثِيرِىٌّ

يُحَوِّلُ الْمُوَلِّدُ الطَّاقَةَ الْمِيكَانِيكِيَّةَ إِلَى طَاقَةٍ كَهْرَبِيَّةٍ بِوَاسِطَةِ إِدَارَةِ مِلَفٍّ مِن السِّلْكِ فِى مَجَالٍ مَغْنَاطِيسِىٍّ . وَيَتَوَلَّدُ تَيَّارٌ كَهْرَبِىٌّ أَيْضًا ، عِنْدَمَا تَقْطَعُ خُطُوطُ الْقُوَّةِ الْمَغْنَاطِيسِيَّةِ مِلَفًّا مِن السِّلْكِ (يسار) وَتَسْرِى الإِلِكْتْرُونَاتُ (أزرق) نَحْوَ الْقُطْبِ الْمُوجَبِ لِلْمَغْنَاطِيسِ ، وَيَمُرُّ التَّيَّارُ مِن الْقُطْبِ الْمُوجَبِ إِلَى الْقُطْبِ السَّالِبِ . وَطَوَالَ مُدَّةِ تَحَرُّكِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ خِلاَلَ الْمِلَفِّ أَو الْمُوَصِّلِ ، يَتَوَلَّدُ تَيَّارٌ تَأْثِيرِىٌّ فِى الْمُوَصِّلِ . وَتَنْطَبِقُ نَفسُ النَّظَرِيَّةِ ، عِنْدَمَا يَمُرُّ مِلَفٌّ مِن السِّلْكِ بِالْقُرْبِ مِنْ مَغْنَاطِيسٍ (أقصى يسار) وَيَتَحَرَّكُ الْمِلَفُّ فِى الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيسِىِّ . وَيَسْرِى التَّيَّارُ التَأْثِيرِىُّ بِطَرِيقَةٍ تُبْعِدُ الْمَغْنَاطِيسَ إِذَا كَانَ الْمَغْنَاطِيسُ يَقْتَرِبُ مِن الْمِلَفِّ ، وَتَجْذِبُ الْمَغْنَاطِيسَ إِذَا كَانَ الْمَغْنَاطِيسُ يَبْتَعِدُ عَن الْمِلَفِّ . وَفِى كُلِّ مَرَّةٍ يُغَيِّرُ فِيهَا الْمَغْنَاطِيسُ اتِّجَاهَهُ بِالنِّسْبَةِ لِلْمِلَفِّ ، فَإِنَّ التَّيَّارَ يُغَيِّرُ اتِّجَاهَهُ أَيْضًا أَو يَتَبَدَّلُ . وَمَادَامَ الْجِهَازُ الْمِيكَانِيكِىُّ يُدِيرُ الْمُوَصِّلَ أَو الْمَجَالَ الْمَغْنَاطِيسِىَّ ، فَإِنَّ الْمُوَلِّدَ سَيَسْتَمِرُّ فِى تَوْلِيدِ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ (AC) .

تَغْيِيرُ اتِّجَاهِ التَّيَّارِ

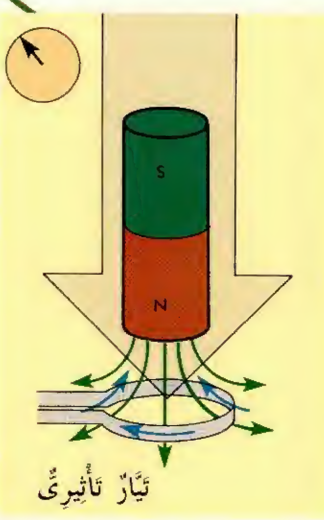
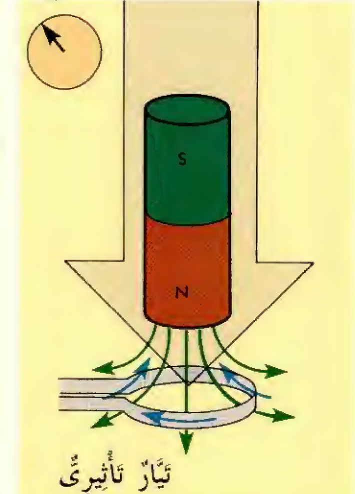
إِذَا حُرِّكَ مَغْنَاطِيسٌ دَاخِلَ مِلَفٍّ مِن السِّلْكِ (أسفل) فَإِنَّهُ يُوَلِّدُ تَيَّارًا تَأْثِيرِيًّا يَمُرُّ فِى الْمِلَفِّ . وَهَذَا التَّيَّارُ يُسَبِّبُ انْحِرَافَ إِبْرَةِ الْجَلْفَانُومِتْرِ (ص ٧٦ــ ٧٧) عَنْ مَوْضِعِ الصِّفْرِ . وَإِذَا جُذِبَ الْمَغْنَاطِيسُ إِلَى خَارِجِ الْمِلَفِّ ، يَتَغَيَّرُ اتِّجَاهُ التَّيَّارِ أَوْ يَتَبَدَّلُ ، وَتَنْحَرِفُ إِبْرَةُ الْجَلْفَانُومِتْرِ إِلَى الْجَانِبِ الْمُضَادِّ لِمَوْضِعِ الصِّفْرِ .



تَيَّارٌ مُتَرَدِّدٌ (متبدل)

لَا يُوَلِّدُ الْمَغْنَاطِيسُ تَيَّارًا بِالتَّأْثِيرِ ، إِلَّا إِذَا كَانَتْ خُطُوطُ الْقُوَى تَقْطَعُ الْمِلَفَّ . وَتَحْرِيكُ مَغْنَاطِيسٍ دَاخِلَ لَفَّةِ سِلْكٍ تُوَلِّدُ فِيهِ تَيَّارًا . وَإِذَا تَوَقَّفَتْ حَرَكَةُ الْمَغْنَاطِيسِ ، فَإِنَّ التَّيَّارَ (أسهم زرقاء) يَتَوَقَّفُ (أوسط) . وَبِجَذْبِ الْمَغْنَاطِيسِ إِلَى الْخَارِجِ يَتَوَلَّدُ تَيَّارٌ فِى اتِّجَاهٍ مُضَادٍّ .

خُطُوطُ قُوَّةٍ مَغْنَاطِيسِيَّة

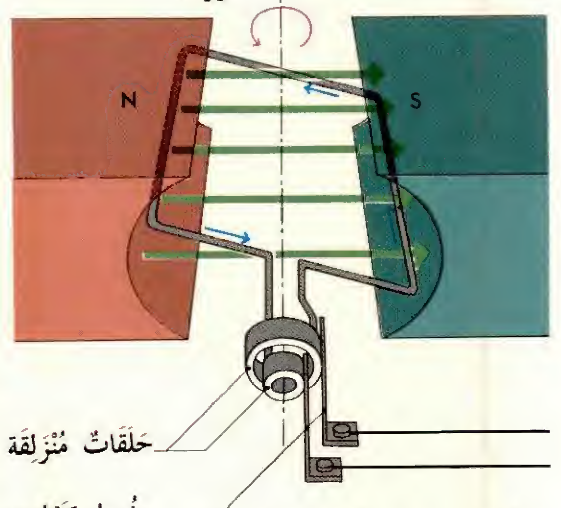



تَيَّارٌ تَأْثِيرِىٌّ

خُطُوطُ قُوَّةٍ مَغْنَاطِيسِيَّة

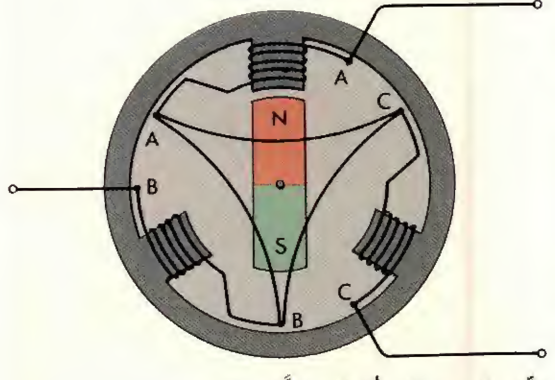
مُوَلِّدٌ بَسِيطٌ لِلتَّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ

فِي الْمُوَلِّدِ الْبَسِيطِ ، تَدُورُ لَفَّةٌ مِنَ السِّلْكِ بَيْنَ قُطْبَيْ مَغْنَاطِيسٍ ثَابِتٍ . وَيَتَّصِلُ كُلٌّ مِنْ طَرَفَيِ السِّلْكِ بِحَلَقَةٍ تَحْتَكُّ عِنْدَ دَوَرَانِهَا بِفُرْشَةٍ مِنَ الْكَرْبُونِ (أسفل) وَيَمُرُّ التَّيَّارُ التَّأْثِيرِيُّ إِلَى الْحَلَقَةِ الدَّاخِلِيَّةِ عِنْدَمَا يَمُرُّ نِصْفُ اللَّفَّةِ بِالْقُطْبِ الشَّمَالِيِّ ، وَلَكِنْ يَمُرُّ التَّيَّارُ إِلَى الْحَلْقَةِ الْخَارِجِيَّةِ عِنْدَمَا يَمُرُّ النِّصْفُ الْآخَرُ لِلَّفَّةِ بِالْقُطْبِ الشَّمَالِيِّ .

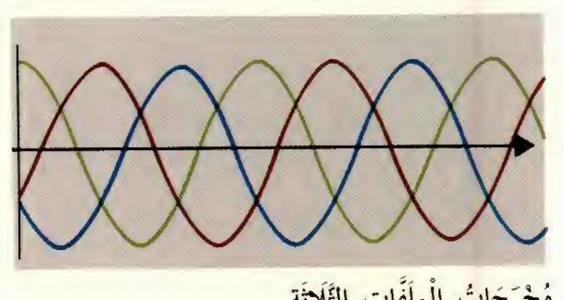


مُوَلِّدُ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ ثُلَاثِيُّ الطَّوْرِ

مِنَ الطُّرُقِ الْاقْتِصَادِيَّةِ لِتَوْلِيدِ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ قَوِيٍّ ، أَنْ يُسْتَخْدَمَ مَغْنَاطِيسٌ وَاحِدٌ يَدُورُ مَارًّا بِعِدَّةِ مِلَفَّاتٍ . وَفِي الْمُوَلِّدِ ثُلَاثِيِّ الطَّوْرِ الْعَادِيِّ (أسفل) يُحِيطُ بِالْمَغْنَاطِيسِ عَلَى أَبْعَادٍ مُتَسَاوِيَةٍ ثَلَاثُ مِلَفَّاتٍ . وَكُلُّ مِلَفٍّ يُنْتِجُ تَيَّارًا مُتَرَدِّدًا عِنْدَمَا يَمُرُّ بِهِ الْمَغْنَاطِيسُ (الرسم البياني أسفل).



مُوَلِّدُ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ ثُلَاثِيُّ الطَّوْرِ



مُخْرَجَاتُ الْمِلَفَّاتِ الثَّلَاثَةِ

الْإِلِكْتُرُونَات

خُطُوطُ قُوَّةٍ مَغْنَاطِيسِيَّة

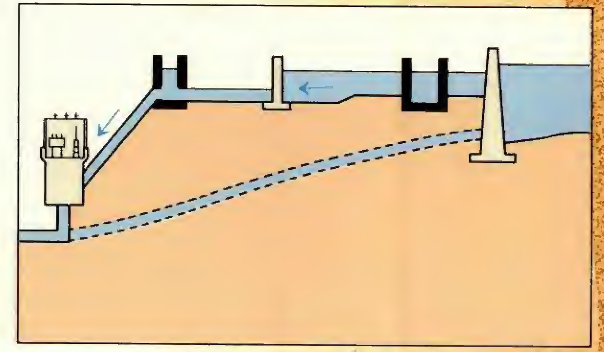
S
N
خُطُوطُ قُوَّةٍ مَغْنَاطِيسِيَّة

S
N
خُطُوطُ قُوَّةٍ مَغْنَاطِيسِيَّة
تَيَّارٌ تَأْثِيرِيٌّ

كَيْفَ يَمُدُّنَا الْمَاءُ بِالْكَهْرَبَاءِ ؟

اسْتَمَرَّ الْمَاءُ لِمُدَّةٍ طَوِيلَةٍ يَمُدُّ الْإِنْسَانَ بِالْقُدْرَةِ اللّازِمَةِ لِمُوَاجَهَةِ احْتِيَاجَاتِهِ ، وَالْيَوْمَ تُنْتِجُ مَحَطَّاتُ التَّوْلِيدِ الْهَيْدُرُوكَهْرَبِيَّةُ حَوَالَى ٢٠٪ مِنْ إِنْتَاجِ الْكَهْرَبَاءِ فِى الْعَالَمِ . فَتَسقُطُ الْمِيَاهُ مِنْ خَلْفِ سَدٍّ عَالٍ عَلَى عَوَارِضَ (رِيَش) تُرْبِينٍ عِمْلَاقٍ ، فَتُدِيرُهَا بِسُرْعَةٍ مِنْ ١٢٥ حتى ٧٥٠ دَوْرَةً فِى الدَّقِيقَةِ . وَهَذِهِ الْعَوَارِضُ الدَّوَّارَةُ تُنْتِجُ الْقُدْرَةَ الْمِيكَانِيكِيَّةَ الَّتِى تُدِيرُ الْمَغْنَاطِيسَ الضَّخْمَ فِى مُوَلِّدِ التَّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ . وَمِقْدَارُ الْقُدرَةِ الْمُتَوَلِّدَةِ تَتَوَقَّفُ عَلَى عُلُوِّ مَنْسُوبِ الْمَاءِ ، أَىْ عَلَى مَسَافَةِ سُقُوطِ الْمَاءِ قَبْلَ اصْطِدَامِهِ بِالتُّرْبِين . وَقَدْ طَوَّرَ الْمُهَنْدِسُونَ مَنَاسِيبَ اسْتِغْلَالِ قُدْرَةِ الْمَاءِ مِنْ مَنْسُوبٍ مُنْخَفِضٍ حَتَّى ٢٠ قَدمًا ، وَمِنْ مَنْسُوبٍ مُرْتَفِعٍ حَتَّى ٥٨٠٠ قدم .

تَوْلِيدُ قُدْرَةٍ هَيْدُرُوكَهْرَبِيَّة

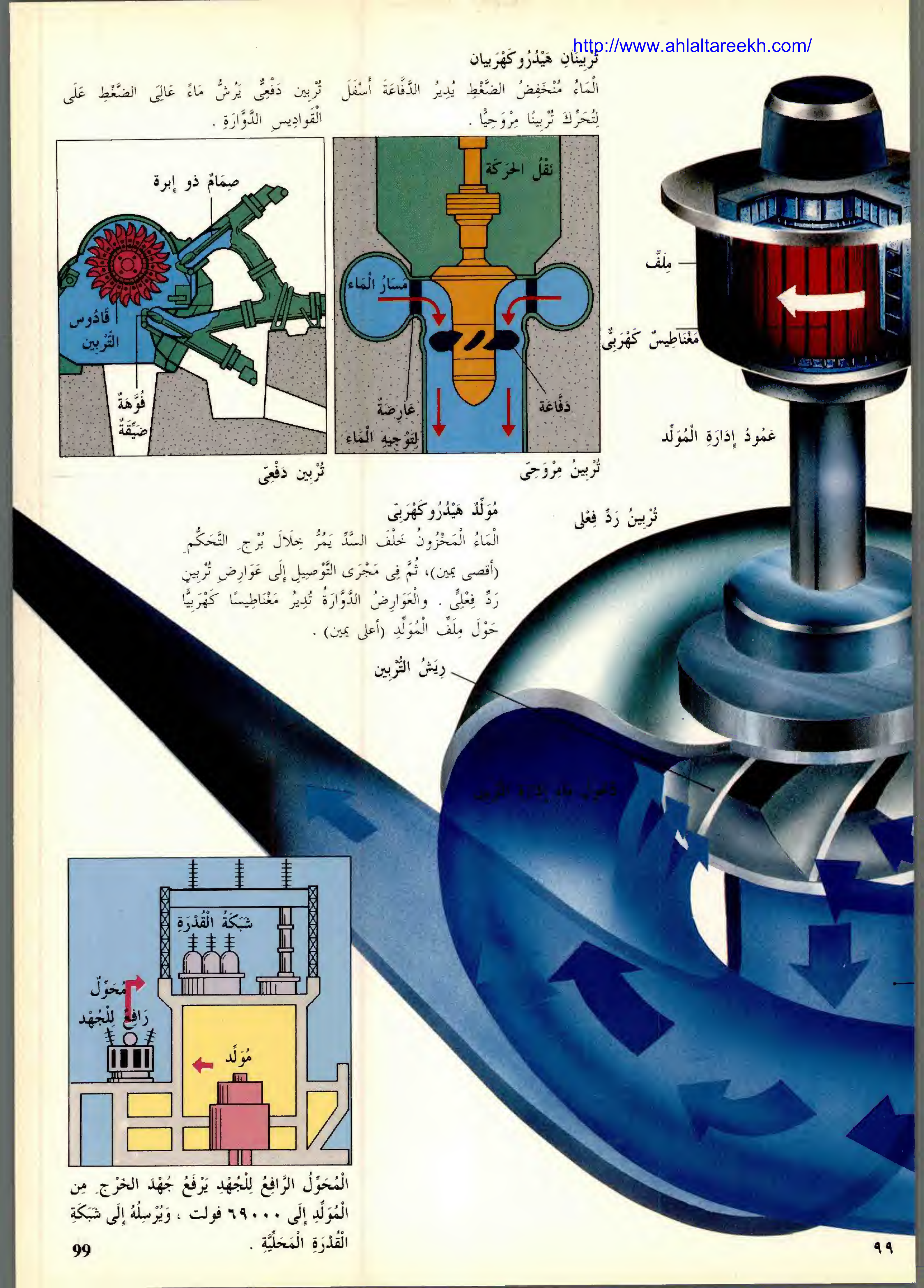


مَحَطَّةُ الْقُوَى الْهَيْدُرُوكَهْرَبِيَّة يَجِبُ أَنْ تَحْوِى سَدًّا (أعلى يمين) لِحَجْزِ الْمَاءِ الْوَارِدِ مِن النَّهْرِ ، وَمَجْرَى تَوْصِيلٍ يَحْمِلُ الماءَ إِلَى مَحَطَّةِ الْقُدْرَةِ (يسار) .

تُرْبِينَانِ هَيْدُرُوكَهْرَبِيان

الْمَاءُ مُنْخَفِضُ الضَّغْطِ يُدِيرُ الدَّفَّاعَةَ أَسْفَلَ لِتُحَرِّكَ تُرْبِينًا مِرْوَحِيًّا .

تُرْبِين دَفْعِيٌّ يَرُشُّ مَاءً عَالِيَ الضَّغْطِ عَلَى الْقَوادِيسِ الدَّوَّارَةِ .



تُرْبِينُ مِرْوَحِيّ

تُرْبِين دَفْعِيّ

مُوَلِّدٌ هَيْدُرُوكَهْرَبِيّ

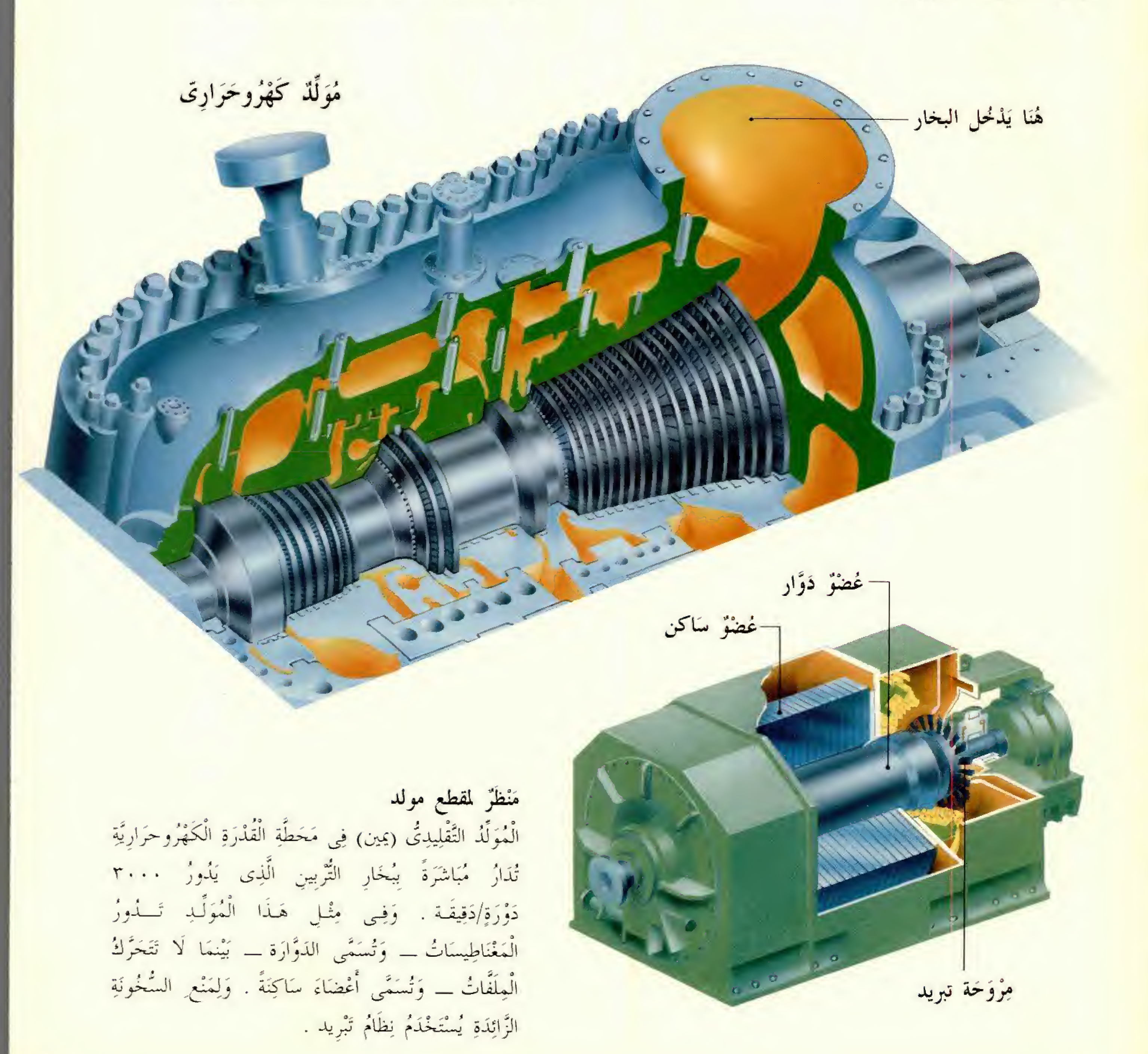
الْمَاءُ الْمَخْزُونُ خَلْفَ السَّدِّ يَمُرُّ خِلَالَ بُرْجِ التَّحَكُّمِ (أقصى يمين)، ثُمَّ فِي مَجْرَى التَّوْصِيلِ إِلَى عَوَارِضِ تُرْبِينِ رَدِّ فِعْلِيٍّ . والْعَوَارِضُ الدَّوَّارَةُ تُدِيرُ مَغْنَاطِيسًا كَهْرَبِيًّا حَوْلَ مِلَفِّ الْمُوَلِّدِ (أعلى يمين) .

الْمُحَوِّلُ الرَّافِعُ لِلْجُهْدِ يَرْفَعُ جُهْدَ الخَرْجِ مِن الْمُوَلِّدِ إِلَى ٦٩٠٠٠ فولت ، وَيُرْسِلُهُ إِلَى شَبَكَةِ الْقُدْرَةِ الْمَحَلِّيَّةِ .

كيف تستخدم محطات القدرة الوقود الأحفورى ؟

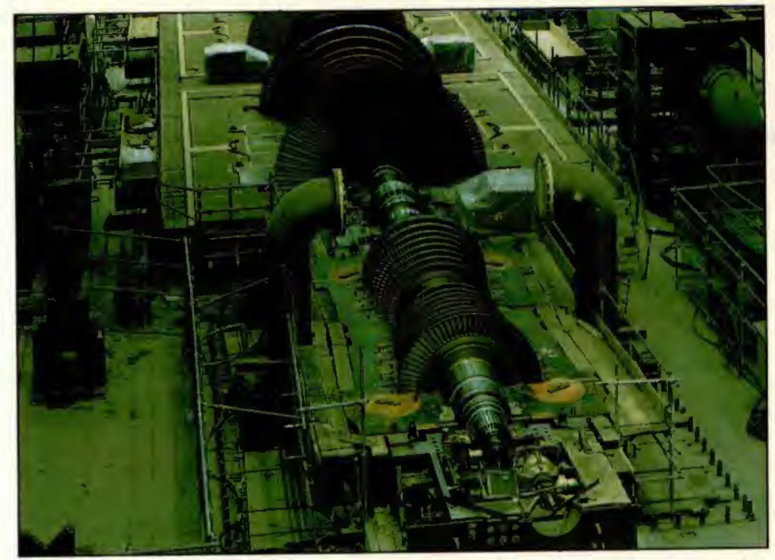
تَسْتَخْدِمُ مَحطَّاتُ الْقُدْرَةِ الْكَهْرُوحَرَارِيّة الطَّاقةَ الْمُنْطَلِقةَ مِن الْوَقُودِ الْأُحْفُورِىِّ الْمُشْتَعِلِ ـ مِثْل الْفَحْمِ وَزَيْتِ الْبِتْرُولِ وَالْغَازِ الطَّبِيعِىِّ ـ لِيُحَوِّل الْمَاءَ إِلَى بُخارٍ عالِي الضَّغْطِ . وَهَذَا الْبُخارُ ، ذُو الضَّغْطِ حَوالَى ٣٥٠٠ رِطْلٍ/بُوصَة٢ وَدَرَجَةُ الْحَرَارَة ٥٢٤°م (١٠٠٠°ف)، يُدِيرُ تُرْبِينًا . وَهَذا التُّرْبِينُ يُدِيرُ مَغْنَاطِيسًا ضَخْمًا دَاخِلَ مُولِّدٍ ، فَتتولَّدُ الْكَهْرَبَاءُ .

وَمَحطَّاتُ الْقُدْرَةِ الْكَهْروحرارية الْحَدِيثَةُ تَسْتَفِيدُ مِن حَوالَى ٤٠٪ مِن الطَّاقَةِ الْمُنْطَلِقَةِ مِنْ الْوَقُودِ الْمُشْتَعِلِ وَتُحَوِّلُها إِلَى كَهْرَباءَ ، وَيُفْقَدُ بَاقِى الطَّاقَةِ عَلَى شَكْلِ حَرَارَةٍ . وَمُعْظَمُ مَحطَّاتِ الْقُدْرَةِ فِى أُورُوبَّا تَسْتَخْدِمُ الْحَرَارَةَ الْمَفْقُودَةَ فِى تَدْفِئَةِ الْمَنَازِلِ وَالْمَشْرُوعَاتِ التِّجَارِيَّةِ الْقَرِيبَةِ . وَإِنْتَاجُ الْحَرَارَةِ وَالْكَهْرَبَاءِ الْمُستَعْمَلَيْن يَرْفَعُ كَفَاءَةَ الطَّاقَةِ الْمُسْتَفادِ بِهَا إِلَى ٨٠٪ .



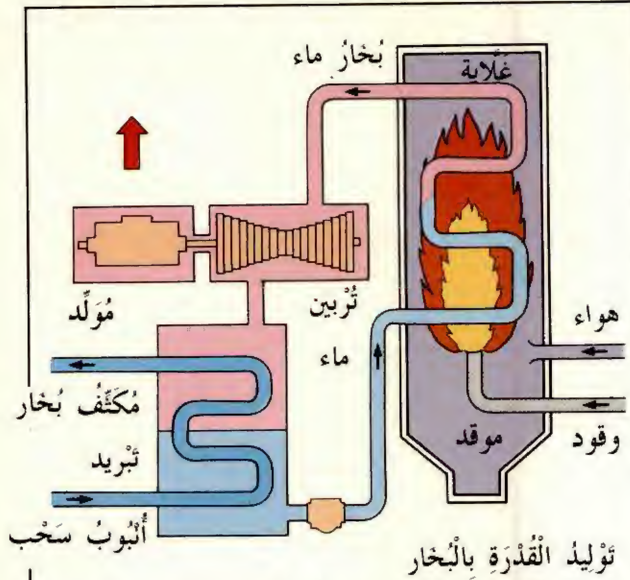
مَنْظَرٌ لمقطع مولد

الْمُوَلِّدُ التَّقْلِيدِىُّ (يمين) فِى مَحَطَّةِ الْقُدْرَةِ الْكَهْرُوحَرَارِيَّة تُدَارُ مُبَاشَرَةً بِبُخَارِ التُّرْبِينِ الَّذِى يَدُورُ ٣٠٠٠ دَوْرَةٍ/دَقِيقَة . وَفِى مِثْلِ هَذَا الْمُوَلِّدِ تَدُورُ الْمَغْنَاطِيسَاتُ ـ وَتُسَمَّى الدَّوَّارَة ـ بَيْنَمَا لَا تَتَحَرَّكُ الْمِلَفَّاتُ ـ وَتُسَمَّى أَعْضَاءَ سَاكِنَةً . وَلِمَنْعِ السُّخُونَةِ الزَّائِدَةِ يُسْتَخْدَمُ نِظَامُ تَبْرِيد .



تَظْهَرُ فِي هَذَا التُّرْبِينِ الْبُخارِيِّ عَوَارِضُ الدَّفَّاعَاتِ .

تُرْبِينٌ بُخَارِيٌّ تَقْلِيدِيٌّ (يمين) به مَجْمُوعَتَانِ مِن الْعَوَارِضِ . و الْبُخَارُ عَالِي الضَّغْطِ الْوَارِدِ مِن الْغَلَّايَةِ ، يَدْخُلُ غُرْفَةَ التُّرْبِينِ وَيُدِيرُ الْمَجْمُوعَةَ الْأُولَى مِن الْعَوَارِضِ . ثُمَّ يُعَادُ تَسْخِينُ الْبُخَارِ وَيُدْفَعُ ثَانِيَةً إِلَى غُرْفَةِ التُّرْبِينِ لِيُدِيرَ مَجْمُوعَةً ثَانِيَةً مِن الْعَوَارِضِ الَّتِي تَعْمَلُ عِنْدَ ضَغْطٍ بُخَارِيٍّ أَقَلَّ .



تَوْلِيدُ الْقُدْرَةِ بِالْبُخار

فِي مَحَطَّةٍ كَهْرُوحَرَارِيَّة ، يُحْرَقُ الْوَقُودُ فِي غَلَّايَةٍ ، فَيُنْتِجُ لَهَبًا شَدِيدَ الْحَرَارَةِ . وَتَحْمِلُ الْأَنَابِيبُ الْمَاءَ وَسْطَ اللَّهَبِ ، فَيَتَحَوَّلُ الْمَاءُ إِلَى بُخَارٍ عَالِي الضَّغْطِ . وَيُدِيرُ الْبُخَارُ تُرْبِينًا مُوَلِّدًا طَاقَةً مِيكَانِيكِيَّةً يُحَوِّلُهَا الْمُوَلِّدُ إِلَى كَهْرَبَاءَ . وَبَعْدَ خُرُوجِ الْبُخَارِ مِن التُّرْبِين يَمُرُّ فِي مُكَثِّفٍ حَيْثُ يَمُرُّ حَوْلَ أَنَابِيبَ تَحْمِلُ مَاءً بَارِدًا ، فَيَتَحَوَّلُ ثَانِيَةً إِلَى مَاءٍ .

غَلَّايَةٌ بِالْفَحْمِ أَو الْغَازِ أَو الزَّيْتِ

إِلَى التُّرْبين
من التربين
إِلَى التُّرْبين
فرن
إِعَادَةُ التَّسْخِين
مُسَخِّن
تَزْوِيدُ الْمَاء
غَلَّايَةٌ من الداخل
وقود

دَاخِلَ غَلَّايَةٍ

تَمْتَلِئُ الْغَلَّايَةُ بِأَنَابِيبَ حَامِلَةٍ لِلْمَاءِ ، مَطْوِيَّةٍ فَوْقَ بَعْضِهَا فِي عِدَّةِ مَرَّاتٍ . وَبِذَلِكَ تَزْدَادُ كَمِّيَّةُ الْحَرَارَةِ الْمُنْتَقِلَةِ إِلَى الْمَاءِ لِأَقْصَى قَدْرٍ مُمْكِنٍ ، وَبِالتَّالِي يَنْتُجُ أَكْبَرُ قَدْرٍ مِن بخار الماء .

كَيْفَ يُمْكِنُ تَوْلِيدُ الْكَهْرَبَاءِ مِنَ الطَّاقَةِ الْجِيُوحَرَارِيَّةِ ؟

يُوجَدُ عَلَى عُمْقِ ١٠ أَمْيَالٍ تَحْتَ سَطْحِ الْأَرْضِ ، مَصْدَرٌ لَانِهَائِيٌّ مِنَ الطَّاقَةِ يُنْتَظَرُ اسْتِغْلَالُه ، وَهُوَ طَاقَةُ الصُّخُورِ الْجَوْفِيَّةِ الْمَعْرُوفَةُ بِالطَّاقَةِ الْجِيُوحَرَارِيَّةِ الَّتِى تَصِلُ دَرَجَةُ حَرَارَتِهَا إِلَى ٤٢٠°م أَوْ أَكْثَرَ . وَقَدْ تُحَوِّلُ الْمِيَاهَ الْجَوْفِيَّةَ إِلَى بُخَارٍ سَاخِنٍ . وَيَنْدَفِعُ مِنْ حَمَّاتٍ (عيون الماء الساخن) مِثْلِ نَافُورَةِ أُولْد فِيثْفُل فِى يِلُوسْتُون بارك بِالْوِلَايَاتِ الْمُتَّحِدَةِ . وَتُبْنَى مَحَطَّاتُ تَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ بِالتُّرْبِينَاتِ الْبُخَارِيَّةِ فَوْقَ الْحَمَّاتِ لِتَمُدَّهَا بِالْقُدْرَةِ كَمَا فِى كَالِيفُورْنِيَا وَنِيُوزِيلَنْدَا وَإِيطَالْيَا . وَهَذِهِ الْجُيُوبُ الطَّبِيعِيَّةُ مِنَ الْبُخَارِ نَادِرَةٌ عَلَى عُمْقِ مِيلٍ مِنَ السَّطْحِ ، وَلَكِنَّ الْحَفْرَ عَلَى عُمْقِ ١٠ أَمْيَالٍ فِى الْأَرْضِ قَدْ يَصِلُ إِلَى طَاقَةٍ جِيُوحَرَارِيَّةٍ وَيُوَلِّدُ بُخَارًا فِى أَىِّ مَكَانٍ يَلْزَمُ بِنَاءُ مَحَطَّةِ قُدْرَةٍ فِيهِ .

وَهُنَاكَ طَرِيقَتَانِ لِلتَّنْقِيبِ عَنْ هَذِهِ الطَّاقَةِ بِالْحَفْرِ إِلَى عُمْقِ ٥٠٠٠٠ قَدَمٍ أَوْ أَكْثَرَ . إما حُفْرَةٌ قُطْرُهَا حَوَالَى ٢ قدم . وَيُصَبُّ الْمَاءُ الْبَارِدُ فِيهَا ، فَتُسَخِّنُهُ الصُّخُورُ الْمُحِيطَةُ ، وَيَعُودُ كَبُخَارٍ خِلَالَ أُنْبُوبٍ دَاخِلِيٍّ مَعْزُولٍ . أو حُفَرًا مُتَعَدِّدَةً أَضْيَق . وَيُضَخُّ الْمَاءُ دَاخِلَ إِحْدَاهَا ، وَيَتَخَلَّلُ الْمَاءُ الصُّخُورَ السَّاخِنَةَ ، ثُمَّ يَعُودُ إِلَى السَّطْحِ كَبُخَارٍ خِلَالَ أَنَابِيبَ مَعْزُولَةٍ فِى حُفَرِ الصُّعُودِ الْأُخْرَى .

الْحُصُولُ عَلَى بُخَارٍ مِنَ الْأَرْضِ

الْمَاءُ الَّذِى يُضَخُّ فِى بِئْرٍ جِيُوحَرَارِىٍّ يَعُودُ إِلَى السَّطْحِ كَبُخَارٍ عَالِى الضَّغْطِ وَمَاءٍ فَوْقَ مُسَخَّنٍ (أسفل) . وَيَمُرُّ هَذَا الْخَلِيطُ فِى فَاصِلٍ حَلَزُونِىٍّ يَحْجِزُ الْمَاءَ وَيُمَرِّرُ الْبُخَارَ إِلَى التُّرْبِينِ . وَيُدِيرُ الْبُخَارُ دَفَّاعَاتِ التُّرْبِين ، الَّتِى تُدِيرُ الْمُوَلِّدَ ، فَتَتَوَلَّدُ الْكَهْرَبَاءُ . وَيُمْكِنُ اسْتِخْدَامُ الْمَاءِ فَوْقَ الْمُسَخَّنِ لِتَزْوِيدِ الْمَنَازِلِ وَالْمُنْشَآتِ بِالْحَرَارَةِ ، قَبْلَ إِعَادَةِ ضَخِّهَا إِلَى الْأَرْضِ .

هَذِهِ الْمَحَطَّةُ تُوَلِّدُ الْكَهْرَبَاءَ بِمَاءٍ جُيوحَرارِىٍّ سَاخِنٍ يُبَخِّرُ مُرَكَّبًا كِيمْيَائِيًّا (وردى) درجةُ غليانِهِ أقلُّ بكثيرٍ مِن درجةِ غليانِ الْمَاءِ . وَضَغْطُ بُخَارِ الْمُرَكَّبِ يُدِيرُ تُرْبِينًا .

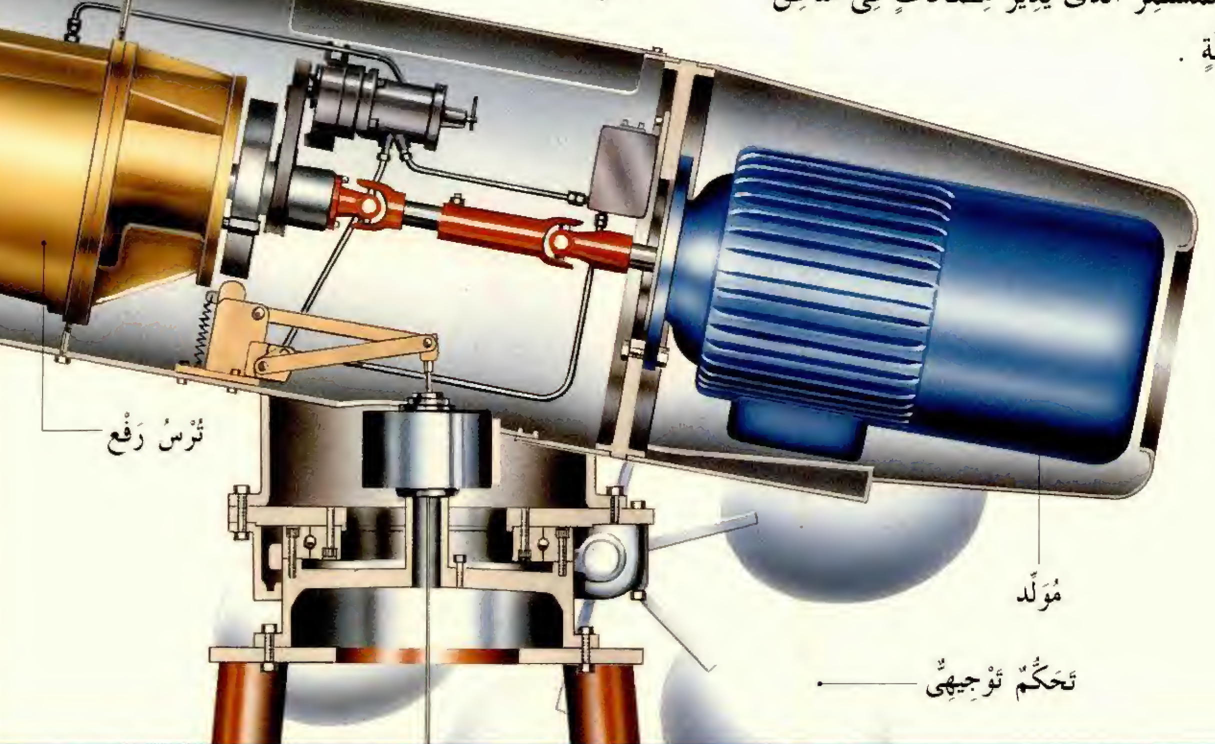
دورة الماء — البخار

تَسْتَخْدِمُ هَذِهِ الْمَحَطَّةُ الْبُخَارَ (بنفسجى فاتح) الَّذِى يُفْصَلُ عَن الْماءِ السَّاخِنِ (وردى) عِنْدَ بِئْرِ الْإِنْتَاجِ ، ثُم يُسْتَخْدَمُ لِإِدَارَةِ التُّرْبِين . وَيُعَادُ الْمَاءُ إِلَى الْأَرْضِ . وَيُبَرَّدُ الْبُخَارُ فِى النِّهَايَةِ ثُمَّ يُعَادُ اسْتِخْدَامُه كَمَاءٍ .

كيف نستخدم الرياح كمصدرٍ للقدرة ؟

فِى أَجْزَاءَ كَثِيرَةٍ مِن الْعَالَمِ ــ مِنْهَا كَالِيفُورْنِيَا وَغَرْبُ وَسَطِ الْوِلَايَاتِ الْمُتَّحِدَةِ ــ تَتَوَافَرُ الرِّيَاحُ السَّرِيعَةُ الْكَافِيَةُ لِتَوْفِيرِ مَصْدَرٍ رَخِيصٍ وَيُعْتَمَدُ عَلَيْهِ مِن الطَّاقَةِ غَيْرِ الْمُلَوِّثَةِ لِإِنْتَاجِ الْكَهْرَبَاءِ . وَلِلطَّوَاحِينِ الْهَوَائِيَّةِ أَشْكَالٌ وَأَحْجَامٌ مُخْتَلِفَةٌ ، يُصَمَّمُ كُلٌّ مِنْهَا لِمَكَانٍ وَعَمَلٍ مُحَدَّدَيْنِ . فَمَثَلًا ، طَوَاحِينُ دارْيُوس ، الَّتِى لَهَا عُضْوٌ دَوَّارٌ يُشْبِهُ مَضْرِبَ الْبَيْضِ ، تَعْمَلُ بِكَفَاءَةٍ عَالِيَةٍ عِنْدَ هُبُوبِ الرِّيَاحِ الْعَالِيَةِ السَّرِيعَةِ . وَنَوْعُ الطَّوَاحِينِ ذَاتِ الْأَرْبَعِ أَو الثَّمَانِى رِيَشٍ الْمُسْتَخْدَمُ فِى الْمَزَارِعِ يُنَاسِبُ لِتَوْلِيدِ كَمِّيَّاتٍ صَغِيرَةٍ مِن التَّيَّارِ الْمُسْتَمِرِّ الَّذَى يُدِيرُ مِضَخَّاتٍ فِى مناطِقَ ذَاتِ رِيَاحٍ مُعْتَدِلَةٍ .

وَتَتَكَوَّنُ الطَّاحُونَةُ الْهَوَائِيَّةُ الْأَسَاسِيَّةُ مِنْ : رِيشَةٍ أَوْ أَكْثَر ، وَآلِيَّةٍ لِحِفْظِ الرِّيَشِ دَوَّارَةً بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ فِى مُوَاجَهَةِ الرِّيَاحِ الْمُتَغَيِّرَةِ ، وَمُوَلِّدٍ . وَأَشْهَرُ أَنْوَاعِ طَوَاحِينِ الْهَوَاءِ اسْتِخْدَامًا (أسفل) لَهَا رِيَشٌ وَتُشْبِهُ مِرْوَحَةَ طَائِرَةٍ مَوْضُوعَةً عَلَى عَمُودٍ طَوِيلٍ . وَلَكِنَّهَا تُغَيِّرُ شَكْلَهَا طِبْقًا لِلرِّيَاحِ الْمُتَغَيِّرَةِ ، وَهُوَ مَالَا تَفْعَلُهُ مِرْوَحَةُ الطَّائِرَةِ . وَتُصَمَّمُ هَكَذَا لِأَنَّ طَوَاحِينَ الْهَوَاءِ الَّتِى تَكُونُ جُزْءًا مِنْ شَبَكَةِ مَصْنَعٍ يَلْزَمُ أَنْ تَعْمَلَ بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ لِتُنْتِجَ تَيَّارًا مُنْتَظِمًا . وَتُسَاعِدُ التُّرُوسُ وفَرَامِلُ الْهَوَاءِ عَلَى جَعْلِ الطَّوَاحِينِ تَعْمَلُ بِأَقْصَى كَفَاءَتِهَا .





الطَّاحُونَةُ الْهَوَائِيَّةُ دَارْيُوس

يُزَوَّدُ دَوَّارُ دَارْيُوس بِشَفْرَتَيْنِ رَأْسِيَّتَيْنِ مُقَوَّسَتَيْنِ تَدُورانِ حَوْلَ عَمُودِ الْقُدْرَةِ . وَيُقَلِّلُ الاحتِكَاكَ حَافَّةٌ مُسْتَدِيرَةٌ أَمَامِيَّةٌ مُوَجِّهَةٌ وَحَافَّةٌ حَادَّةٌ . وَدَوَّارُ دَارْيُوسَ يَعْمَلُ بِطَرِيقَةٍ أَفْضَلَ فِى الرِّيَاحِ الْقَوِيَّةِ .

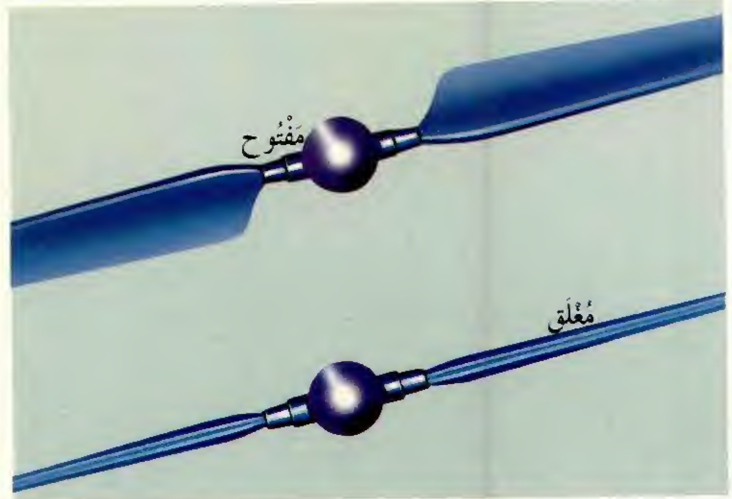


هٰذِهِ الْمَزْرَعَةُ الْهَوَائِيَّةُ فِى كَالِيفُورْنِيَا الشَّمَالِيَّةِ بِهَا عَشَرَاتُ الطَّوَاحِينِ الْهَوَائِيَّةِ الَّتِى تُحَوِّلُ الرِّيَاحَ الْقَوِيَّةَ بِالْمِنْطَقَةِ إِلَى كَهْرَبَاءَ . وَكُلُّ طَاحُونَةٍ يُحَدَّدُ مَكَانُهَا بِعِنَايَةٍ بِحَيْثُ لَا تَمْنَعُ الْقُوَّةَ الْكَامِلَةَ لِلرِّيَاحِ مِنَ الْوُصُولِ إِلَى الطَّوَاحِينِ الْأُخْرَى .

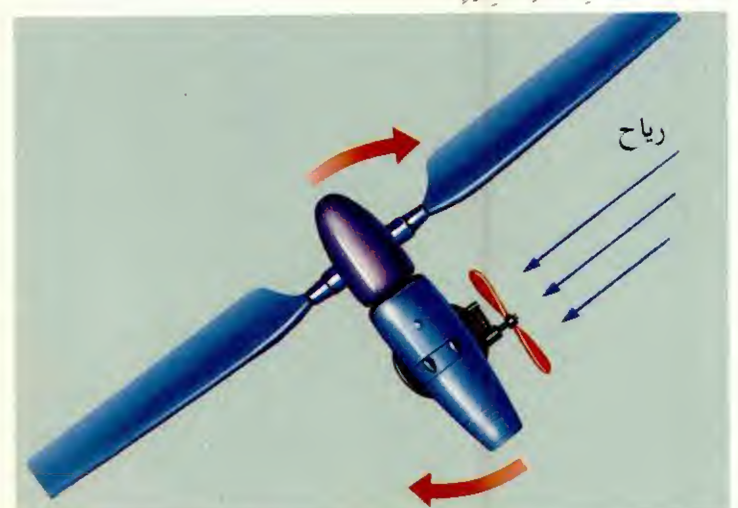
مُتَحَكِّمُ تَغْيِيرِ الْخُطْوَةِ

رِيشَةُ طَاحُونَةٍ هَوَائِيَّةٍ

التَّكَيُّفُ مَعَ الرِّيَاحِ الْمُتَغَيِّرَةِ



فِى الرِّيَاحِ الضَّعِيفَةِ ، تُفْتَحُ (علوى) رِيشُ الطَّاحُونَةِ الْهَوَائِيَّةِ لِتَجْمَعَ أَكْبَرَ قَدْرٍ مِنْ طَاقَةِ الرِّيَاحِ . وَعِنْدَمَا تَزْدَادُ قُوَّةُ الرِّيَاحِ ، تُقْفَلُ (سفلى) الرِّيشُ حَتَّى لَاتَدُورَ بِسُرْعَةٍ كَبِيرَةٍ .



مِرْوَحَةٌ صَغِيرَةٌ عَلَى طَاحُونَةِ تَحَكُّمٍ تَوْجِيهِىٍّ تَحْفَظُ الْمِرْوَحَةَ الرَّئِيسِيَّةَ مُوَاجِهَةً لِلرِّيَاحِ . وَهٰذَا يُسَاعِدُ الطَّاحُونَةَ الْهَوَائِيَّةَ عَلَى اسْتِقْبَالِ طَاقَةِ الرِّيَاحِ بِكَفَاءَةٍ أَكْبَرَ .

كَيْفَ يُسْتَفَادُ مِنْ قُدْرَةِ الْمُحِيطِ ؟

يُمْكِنُ أَنْ يُؤْخَذَ مِنَ الْمُحِيطِ ثَلَاثُ صُوَرٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الطَّاقَةِ : مَدِّيَّة ، وَمَوْجِيَّةٌ ، وَحَرَارِيَّة . وَلِلْحُصُولِ عَلَى طَاقَةِ الْمَدِّ يُبْنَى حَاجِزٌ خَنْدَقِيٌّ وعَرْضِيٌّ عَلَى مَصَبِّ النَّهْرِ (أسفل). وَتُوضَعُ فِي الْأَنْفَاقِ الَّتِي تَخْتَرِقُهُ تُرْبِينَاتٌ وَمُوَلِّدَاتٌ فَيَنْدَفِعُ الْمَاءُ خِلَالَ الْأَنْفَاقِ إِلَى الْجَانِبِ مُنْخَفِضِ الْمَاءِ ، وَيُدِيرُ التُّرْبِينَ أَثْنَاءَ انْدِفَاعِهِ . وَعِنْدَمَا يَحْدُثُ الْجَزْرُ ، يَكُونُ مُسْتَوَى الْمَاءِ عَلَى جَانِبِ الْحَاجِزِ الْمُوَاجِهِ لِلنَّهْرِ أَعْلَى مِنْهُ عَلَى الْجَانِبِ الْآخَرِ . فَيَعُودُ الْمَاءُ خِلَالَ الْأَنْفَاقِ فِي الاتِّجَاهِ الْمُضَادِّ ، مُنْتِجًا مَزِيدًا مِنَ الْكَهْرَبَاءِ .

وَقُدْرَةُ الْأَمْوَاجِ تَسْتَخْدِمُ أَيْضًا الْحِسَارَ وَسَرَيَانَ الْمَاءِ لِإِدَارَةِ تُرْبِينٍ مُثَبَّتٍ دَاخِلَ عَوَّامَةٍ بِدُونِ قَاعٍ . وَعِنْدَمَا تَنْتَفِخُ الْأَمْوَاجُ تَحْتَ الْعَوَّامَةِ ، فَإِنَّهَا تَدْفَعُ الْهَوَاءَ إِلَى رِيَشِ (عوارض) التُّرْبِين مَرَّتَيْنِ : مَرَّةً عِنْدَمَا يَكُونُ الْمَاءُ مُرْتَفِعًا ، وَأُخْرَى عِنْدَمَا يَنْخَفِضُ الْمَاءُ .

وَتَوْلِيدُ الْقُدْرَةِ الْحَرَارِيَّةِ لِلْمُحِيطِ يَسْتَغِلُّ الْفَرْقَ الْكَبِيرَ فِي دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ بَيْنَ سَطْحِ الْمُحِيطِ وَأَعْمَاقِهِ لِتَبْخِيرِ وَتَكْثِيفِ سَائِلٍ يَتَبَخَّرُ فِي دَرَجَةِ حَرَارَةٍ مُنْخَفِضَةٍ . وَبُخَارُ هَذَا السَّائِلِ يُدِيرُ تُرْبِينًا .

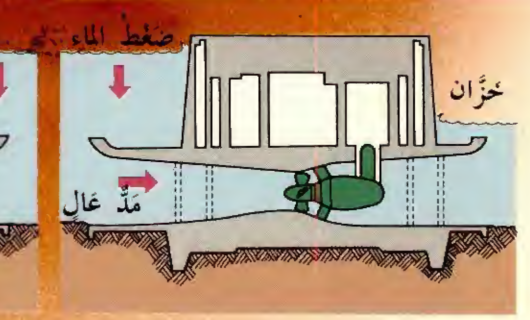
■ مَحَطَّةُ تَوْلِيدِ قُدْرَةِ الْمَدِّ

حاجز

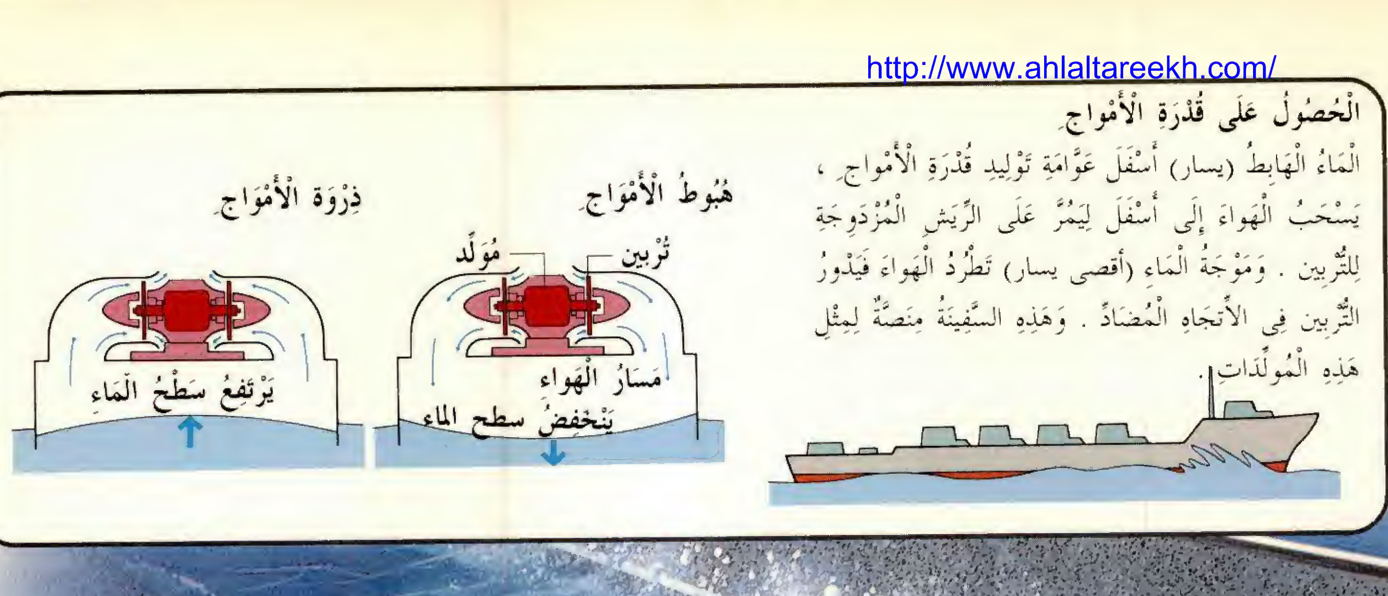
مولّد

مروحة التربين

● الاسْتِفَادَةُ مِنَ الْمَدِّ
فِي مَحَطَّةِ تَوْلِيدِ قُدْرَةِ الْمَدِّ ، يُوَلِّدُ التُّرْبِينُ الْكَهْرَبَاءَ سَوَاءً أَكَانَ الْمَدُّ قَادِمًا (أسفل يمين) أَوْ مُنْحَسِرًا (أسفل يسار) .



مدّ منخفض



الْحُصُولُ عَلَى قُدْرَةِ الْأَمْوَاجِ

الْمَاءُ الْهَابِطُ (يسار) أَسْفَلَ عَوَّامَةِ تَوْلِيدِ قُدْرَةِ الْأَمْوَاجِ ، يَسْحَبُ الْهَوَاءَ إِلَى أَسْفَلَ لِيَمُرَّ عَلَى الرِّيَشِ الْمُزْدَوِجَةِ لِلتُّرْبِين . وَمَوْجَةُ الْمَاءِ (أقصى يسار) تَطْرُدُ الْهَوَاءَ فَيَدُورُ التُّرْبِين فِي الْاتِّجَاهِ الْمُضَادِّ . وَهَذِهِ السَّفِينَةُ مِنَصَّةٌ لِمِثْلِ هَذِهِ الْمُوَلِّدَاتِ .

طَاقَةٌ حَرَارِيَّةٌ مِن الْمُحِيطِ

حَرَارَةُ سَطْحِ الْمَاءِ كَافِيَةٌ لِتَبْخِيرِ سَائِلٍ دَرَجَةُ غَلَيَانِهِ مُنْخَفِضَةٌ مِثْلُ النُّشَادِرِ . وَبُخَارُ النُّشَادِرِ يُدِيرُ تُرْبِينًا ، ثُمَّ يَتَكَثَّفُ بِإِمْرَارِهِ فِي مَاءٍ بَارِدٍ .

مُوَلِّد
تُرْبِين
مكثِّف
مُبَخِّر
مَاءُ السَّطْحِ الدَّافِئ
مَاءٌ بَارِدٌ مِنْ عُمْقٍ أَكْبَر

كَيْفَ يَعْمَلُ الْمُفَاعِل النَّوَوِىُّ ؟

مُفَاعِلُ الْقُدْرَةِ النَّوَوِيَّةِ هُوَ أَكْثَرُ صُوَرِ الطَّاقَةِ الْمُسْتَخْدَمَةِ الْيَوْمَ تَرْكِيزًا . وَيُوضَعُ الْقَلْبُ الْمُشعُّ فِيهِ دَاخِلَ وِعَاءٍ مِن الصُّلْبِ سُمْكُ جُدْرَانِهِ ٦ بُوصَاتٍ . وَيَحْتَوِى الْقَلْبُ عَلَى كُرَيَّاتٍ مُفَلْطَحَةٍ سُمْكُ ١/٢ بوصة مِن يُورانْيُوم ٢٣٥ مَرْصُوصَةٍ دَاخِلَ عَشَرَاتٍ مِنْ أَنَابِيبَ صُلْبٍ لَا يَصْدَأُ طُولُ كُلٍّ مِنْهَا ١٠ أَقْدَامٍ . وَتَنْشَطِرُ ذَرَّاتُ الْيُورَانْيُوم ، وَمَع كُلِّ ذَرَّةٍ تَنْشَطِرُ تَنْطَلِقُ كَمِّيَّاتٌ هَائِلَةٌ مِن الطَّاقَةِ . فَانْشِطَارُ ١جم مِن اليُورَانْيُوم ٢٣٥ يُطْلِقُ طَاقَةً تُعَادِلُ احْتِرَاقَ أَكْثَرَ مِنْ ٥٠٠ جَالُونٍ مِنْ زَيْتِ الْبِتْرُولِ . وَالْمَاءُ الَّذِى يَمُرُّ خِلَالَ الْقَلْبِ يُسَخِّنُ مَصْدَرًا آخَرَ لِلْمِيَاهِ يُكَوِّن الْبُخَار الَّذِى يُدِيرُ تُرْبِينًا .

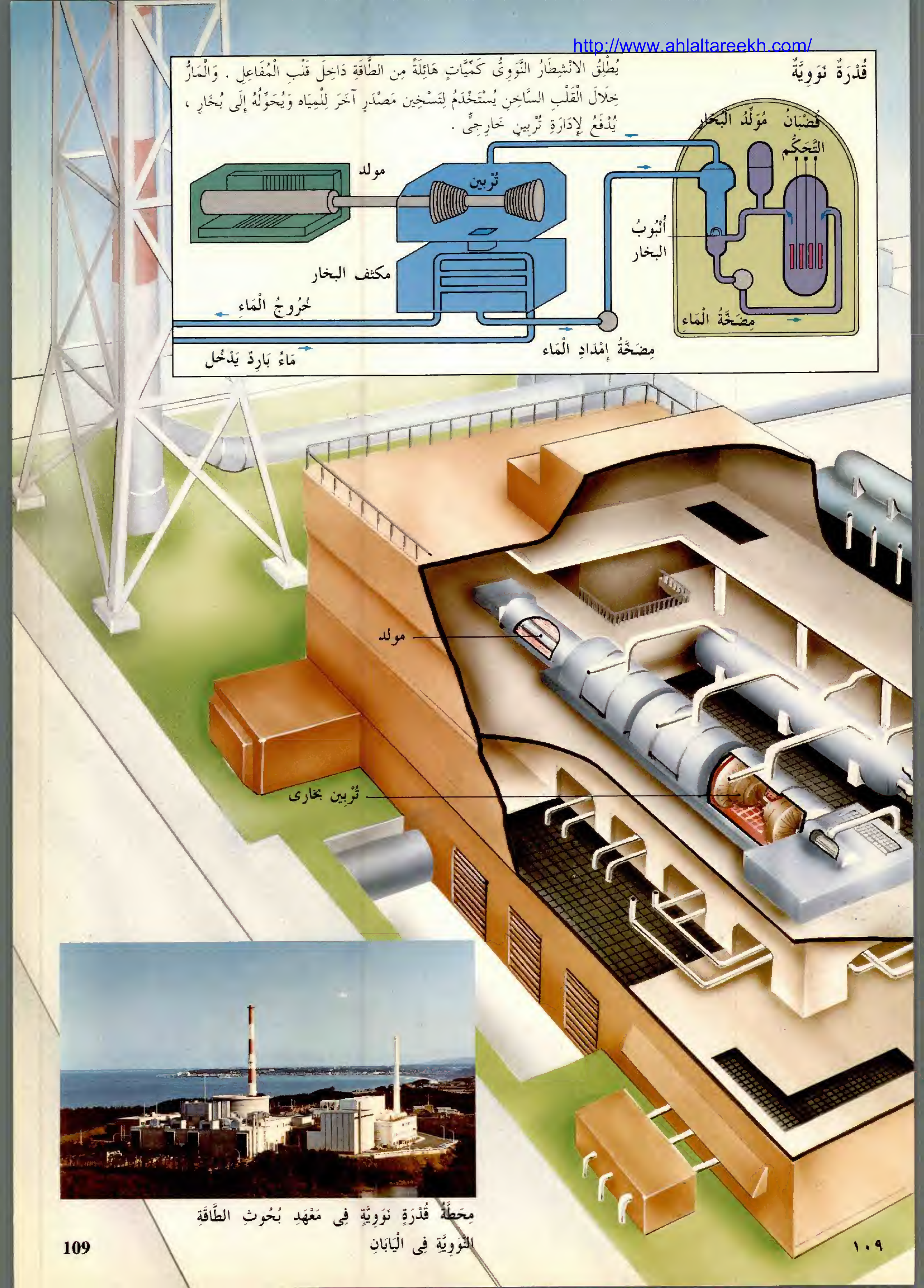
وَبِالْإِضَافَةِ لِتَوْلِيدِ الطَّاقَةِ ، فَإِنَّ انْشِطَارَ الْيُورَانْيُوم ٢٣٥ يُطْلِقُ نِيُوتْرُونَاتٍ ، وَهِيَ أَحَدُ الْمُكَوِّنَيْنِ الْأَسَاسِيَّيْنِ لِنَوَاةِ الذَّرَّةِ . وَتَصْطَدِمُ هَذِهِ النِّيُوتْرُونَاتُ بِذَرَّاتِ يُورَانْيُوم ٢٣٥ أُخْرَى ، فَتَشْطُرُهَا ، وَينْطَلِقُ عَدَدٌ أَكْبَرُ مِن النِّيُوتْرُونَاتِ التى تُنْتِجُ تَفَاعُلًا مُتَسَلْسِلًا ، هُوَ مَصْدَرٌ دَائِمٌ لِلطَّاقَةِ . وَلِلتَّحَكُّمِ فِى هَذَا التَّفَاعُلِ الْمُتَسَلْسِلِ ، تُسْتَخْدَمُ قُضْبَانٌ مِن الْبُورُون أَوْ الْكَادْمِيُوم الَّتِى تَمْتَصُّ النِّيُوتْرُونَاتِ ، وَذَلِكَ بِإِنْزَالِهَا إِلَى الْقَلْبِ .

التَّفَاعُلُ الْمُتَسَلْسِلُ لِيُورَانْيُوم ٢٣٥

عِنْدَ اصْطِدَامِ نِيُوتْرُونٍ بِذَرَّةِ يُورَانْيُوم ٢٣٥ ، فَإِنَّهَا تَنْشَطِرُ إِلَى ذَرَّتَيْنِ أَصْغَرَ . وَهَذَا هُوَ الانْشِطَارُ النَّوَوِىُّ . وَعِنْدَمَا تَنْشَطِرُ ذَرَّةُ يُورَانْيُوم ٢٣٥ ، فَإِنَّهَا تُطْلِقُ نِيُوتْرُونَانِ أَوْ ثَلَاثَةً يُمْكِنُهَا الاصْطِدَامُ بِذَرَّاتٍ أُخْرَى مِنْ يُورَانْيُوم ٢٣٥ ، لِيَبْدَأَ تَفَاعُلٌ مُتَسَلْسِلٌ أَو انْشِطَارٌ مُتَسَلْسِلٌ .

قُدْرَةٌ نَوَوِيَّةٌ

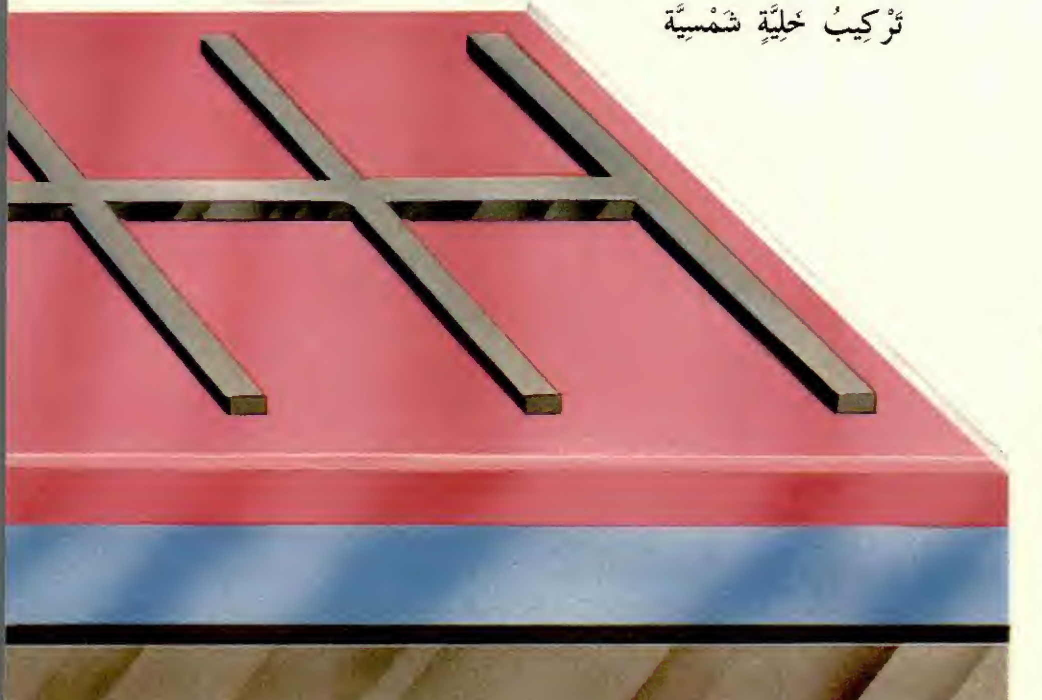
يُطْلِقُ الانْشِطَارُ النَّوَوِىُّ كَمِّيَّاتٍ هَائِلَةً مِن الطَّاقَةِ دَاخِلَ قَلْبِ الْمُفَاعِلِ . وَالْمَارُّ خِلَالَ الْقَلْبِ السَّاخِنِ يُسْتَخْدَمُ لِتَسْخِين مَصْدَرٍ آخَرَ لِلْمِيَاه وَيُحَوِّلُهُ إِلَى بُخَارٍ ، يُدْفَعُ لِإِدَارَةِ تُرْبِينٍ خَارِجِىٍّ .



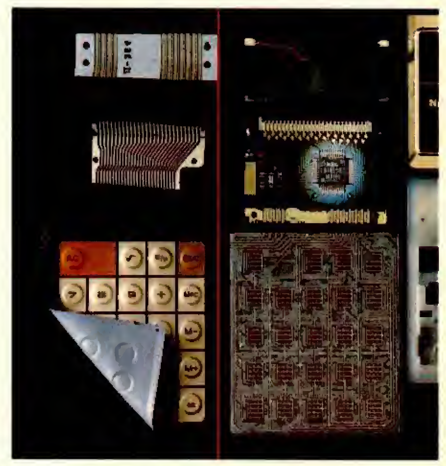
مِحَطَّةُ قُدْرَةٍ نَوَوِيَّةٍ فِى مَعْهَدِ بُحُوثِ الطَّاقَةِ النَّوَوِيَّةِ فِى الْيَابَانِ

كَيْفَ نُوَلِّدُ الْقُدْرَةَ الشَّمْسِيَّةَ ؟

ضَوْءُ الشَّمْسِ هُوَ مَصْدَرُ الطَّاقَةِ الَّتِى تَجْعَلُ جَمِيعَ أَشْكَالِ الْحَيَاةِ مُمْكِنَةً ، وَقَدْ تُنْتِجُ يَوْمًا مَا كَثِيرًا مِنَ الْكَهْرَبَاءِ الَّتِى تَعْتَمِدُ عَلَيْهَا الْمُجْتَمَعَاتُ الْحَدِيثَةُ ، وَقَدْ يُدِيرُ ضَوْءُ الشَّمْسِ تُرْبِينًا بِطَرِيقَةٍ غَيْرِ مُبَاشِرَةٍ حيث تَترَكَّزُ أَشِعَّةُ الشَّمْسِ بِوَاسِطَةِ مَجْمُوعَةِ مَرَايا عَلَى مُبَادِلٍ حَرَارِىٍّ يُبَخِّرُ مَاءً أَوْ سَائِلًا آخَرَ ، وَيُوَجَّهُ الْبُخَارُ لِيُدِيرَ تُرْبِينًا تَقْلِيدِيًّا وَمُوَلِّدًا . أَمَّا الْخَلَايَا الشَّمْسِيَّةُ السِّيلِيكُونِيَّةُ فَتُوَلِّدُ الْكَهْرَبَاءَ مُبَاشَرَةً مِنْ أَشِعَّةِ الشَّمْسِ . وَتَتَركَّبُ الْخَلِيَّةُ الشَّمْسِيَّةُ التَّقْلِيدِيَّةُ مِنْ سِتِّ طَبَقَاتٍ . فَالْقَاعِدَةُ مُزْدَوِجَةٌ : الْقُطْبُ السَّالِبُ لِلْخَلِيَّةِ ، وَفَوْقَه طَبَقَةٌ عَاكِسَةٌ تَحْفَظُ الضَّوْءَ فِى الْجُزْءِ الْعَامِلِ مِنَ الْخَلِيَّةِ ، فتُعَزِّزُ الْإِخْرَاجَ الْكَهْرَبِىَّ لِلْخَلِيَّةِ . ثُمَّ طَبَقَتَانِ مِنَ السِّيلِيكُون الْمُعَالَجِ تُكَوِّنَانِ قَلْبَ الْخَلِيَّةِ الشَّمْسِيَّةِ : شِبْهُ مُوَصِّلٍ سَالِبٍ ــ N، شِبْهُ مُوَصِّلٍ مُوجَبٍ ــ P. والسِّلِيكُونُ السَّالِبُ بِهِ إِلِكْتُرُونَاتٌ حُرَّةٌ ، وَالسِّلِيكُونُ الْمُوجَبُ بِهِ شِحْنَاتٌ مُوجَبَةٌ غَيْرُ مُقَيَّدَةٍ . وَفِى الظَّلَامِ تَتَجَمَّعُ الشِّحْنَاتُ عِنْدَ الْوُصْلَةِ بَيْنَ الطَّبَقَاتِ ، وَعِنْدَمَا يَقِلُّ ضَوْءُ الشَّمْسِ عَلَى الْخَلِيَّةِ تَتَبَاعَدُ الشِّحْنَاتُ . وَهَذِهِ الْحَرَكَةُ تُوَلِّدُ تَيَّارًا مُسْتَمِرًّا عِنْدَمَا تُكَوِّنُ الْخَلِيَّةُ جُزْءًا مِنْ دَائِرَةٍ . وَيَحْمِى السِّلِيكُون غِشَاءٌ رَقِيقٌ شَفَّافٌ وَيُكَمِّلُ الْخَلِيَّةَ قُطْبٌ مُوجَبٌ مَعْدِنِىٌّ .

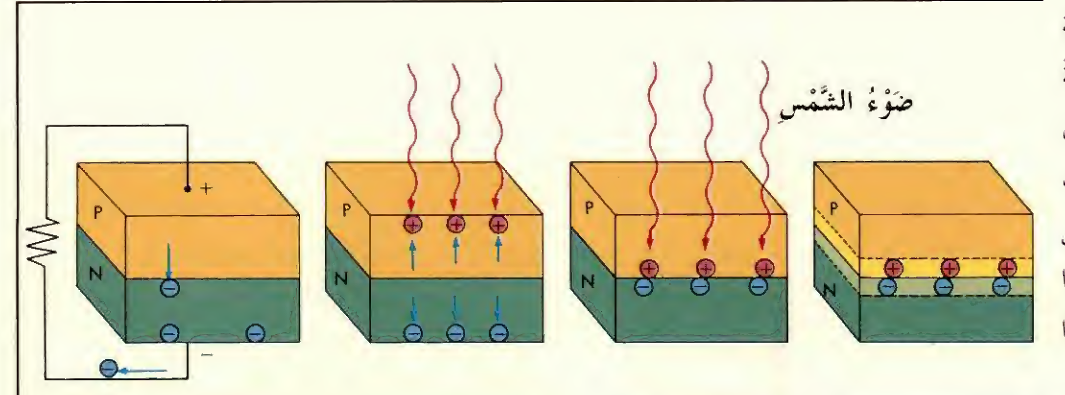


تَرْكِيبُ خَلِيَّةٍ شَمْسِيَّةٍ

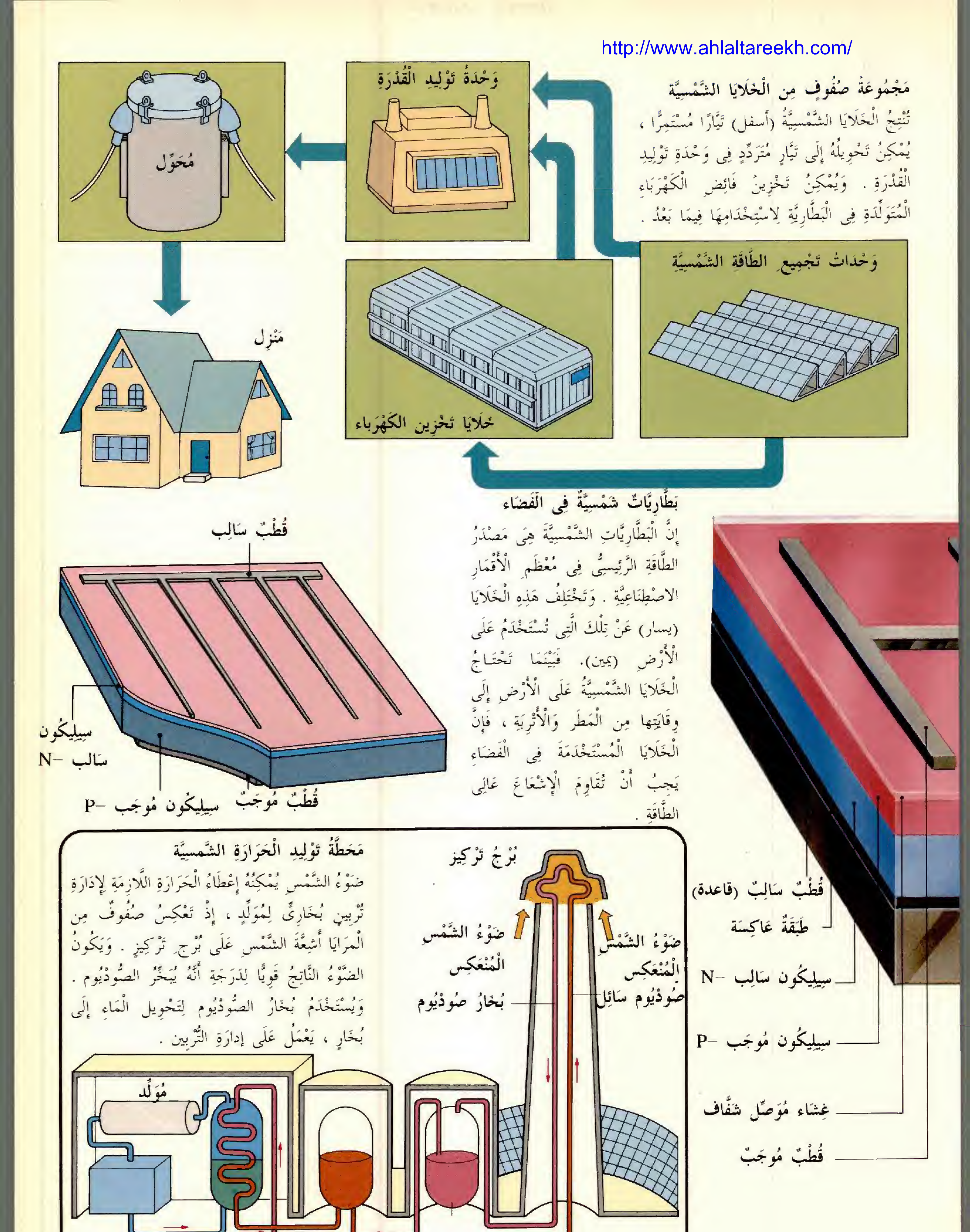


يُمْكِنُ أَنْ تعْمَلَ الْبَطَّارِيَّةُ الشَّمْسِيَّةُ لِحَاسِبٍ فِى ضَوْءِ الْحُجْرَةِ الْعَادِى .

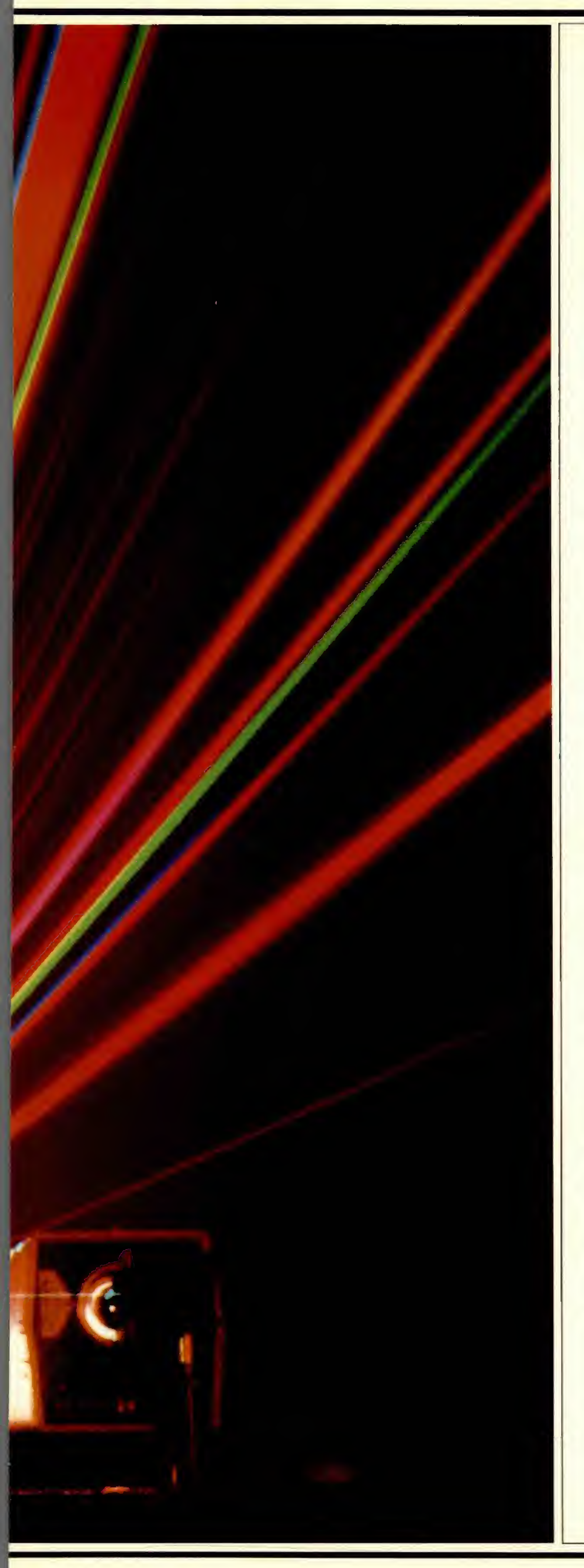
كَيْفَ تَعْمَلُ خَلِيَّةٌ شَمْسِيَّةٌ



الضَّوْءُ السَّاقِطُ عَلَى الْخَلِيَّةِ الشَّمْسِيَّةِ يَفصِلُ الشِّحْنَاتِ الْمُوجَبَةَ والسَّالِبَةَ الْمُتَجَمِّعَةَ عِند مَـوْضِعِ اتِّصَالِ الْوُصْلَةِ بَيْنَ شَرِيحَتَىْ سِيلِيكُون –N، وسِيلِيكُون –P. والفَصْلُ بَيْن الشِّحْنَاتِ يُوَلِّدُ فَرْقَ جُهْدٍ يُنْتِجُ تَيَّارًا كَهْرَبِيًّا عِنْدَمَا تَكُونُ الْخَلِيَّةُ جُزءًا مِن دائرة كَامِلَةٍ .


مَجْمُوعَةُ صُفُوفٍ مِن الْخَلَايَا الشَّمْسِيَّة
تُنْتِجُ الْخَلَايَا الشَّمْسِيَّةُ (أسفل) تَيَّارًا مُسْتَمِرًّا ، يُمْكِنُ تَحْوِيلُهُ إِلَى تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ فِي وَحْدَةِ تَوْلِيدِ الْقُدْرَةِ . وَيُمْكِنُ تَخْزِينُ فَائِضِ الْكَهْرَبَاءِ الْمُتَوَلِّدَةِ فِي الْبَطَّارِيَّةِ لِاسْتِخْدَامِهَا فِيمَا بَعْدُ .
وَحْدَةُ تَوْلِيدِ الْقُدْرَةِ
مُحَوِّل
مَنْزِل
وَحْدَاتُ تَجْمِيعِ الطَّاقَةِ الشَّمْسِيَّةِ
خَلَايَا تَخْزِين الكَهْرَباء
بَطَّارِيَّاتٌ شَمْسِيَّةٌ فِي الفَضَاء
إِنَّ الْبَطَّارِيَّاتِ الشَّمْسِيَّةَ هِيَ مَصْدَرُ الطَّاقَةِ الرَّئِيسِيُّ فِي مُعْظَمِ الْأَقْمَارِ الاصْطِنَاعِيَّةِ . وَتَخْتَلِفُ هَذِهِ الْخَلَايَا (يسار) عَنْ تِلْكَ الَّتِي تُسْتَخْدَمُ عَلَى الْأَرْضِ (يمين). فَبَيْنَمَا تَحْتَاجُ الْخَلَايَا الشَّمْسِيَّةُ عَلَى الْأَرْضِ إِلَى وِقَايَتِهَا مِنَ الْمَطَرِ وَالْأَتْرِبَةِ ، فَإِنَّ الْخَلَايَا الْمُسْتَخْدَمَةَ فِي الْفَضَاءِ يَجِبُ أَنْ تُقَاوِمَ الْإِشْعَاعَ عَالِيَ الطَّاقَةِ .
قُطْبٌ سَالِب
سِيلِيكُون سَالِب N-
قُطْبٌ مُوجَب
سِيلِيكُون مُوجَب P-
قُطْبٌ سَالِبٌ (قاعدة)
طَبَقَةٌ عَاكِسَة
سِيلِيكُون سَالِب N-
سِيلِيكُون مُوجَب P-
غِشَاءٌ مُوَصِّلٌ شَفَّاف
قُطْبٌ مُوجَبٌ
مَحَطَّةُ تَوْلِيدِ الْحَرَارَةِ الشَّمْسِيَّة
ضَوْءُ الشَّمْسِ يُمْكِنُهُ إِعْطَاءُ الْحَرَارَةِ اللَّازِمَةِ لِإِدَارَةِ تُرْبِينٍ بُخَارِيٍّ لِمُوَلِّدٍ ، إِذْ تَعْكِسُ صُفُوفٌ مِنَ الْمَرَايَا أَشِعَّةَ الشَّمْسِ عَلَى بُرْجِ تَرْكِيزٍ . وَيَكُونُ الضَّوْءُ النَّاتِجُ قَوِيًّا لِدَرَجَةِ أَنَّهُ يُبَخِّرُ الصُّودْيُومَ . وَيُسْتَخْدَمُ بُخَارُ الصُّودْيُومِ لِتَحْوِيلِ الْمَاءِ إِلَى بُخَارٍ ، يَعْمَلُ عَلَى إِدَارَةِ التُّرْبِين .
بُرْجُ تَرْكِيز
ضَوْءُ الشَّمْسِ الْمُنْعَكِس
ضَوْءُ الشَّمْسِ الْمُنْعَكِس
بُخَار صُودْيُوم
صُودْيُوم سَائِل
مُوَلِّد
مَاء
مُكَثِّف الصُّودْيُوم

7 أَسْرَارُ الضَّــوْءِ



إنَّ مُعْظَمَ مَا تَوَصَّلَ إِلَيْهِ الْعُلَمَاءُ عَنِ الْكَوْنِ جاءَ نتيجةَ مُلاحَظَةِ وَتحْلِيلِ الضَّوْءِ . وَلَمْ يُعْرَفْ عَنِ الضَّوْءِ نَفْسِهِ إلَّا الْقَلِيلُ حَتَّى عَهْدٍ قَرِيبٍ . وَفِي الْقَرْنِ السَّابِعَ عَشَرَ ، ظَهَرَتْ نَظَرِيَّتَانِ عَنْ طَبِيعَةِ الضَّوْءِ . النَّظَرِيَّةُ الْجُسَيْمِيَّةُ ، الَّتِي وَضَعَهَا سِيرْ إسْحَاق نِيُوتِن ، عَنَ أَنَّ الضَّوْءَ يَتَكَوَّنُ مِنْ دَقَائِقَ صَغِيرَةٍ تُسَمَّى الْجُسَيْمَاتِ . وَاقْتَرَحت النَّظَرِيَّةُ الثَّانِيَةُ لِهِيجِنْز أَنَّ الضَّوْءَ مَوْجَاتٌ تَتَحَرَّكُ فِي الْفَرَاغِ عَلَى غِرارِ التَّمَوُّجاتِ عَبْرَ بِرْكَةِ مَاءٍ . وَمُعْظَمُ الاكْتِشَافَاتِ عَنْ سُلُوكِ الضَّوْءِ خِلَالَ الْمِائَتَيْ سَنَةٍ التَّالِيَةِ كَانَتْ تُؤَيِّدُ النَّظَرِيَّةَ الْمَوجِيَّةَ ، وَتَدْحَضُ النَّظَرِيَّةَ الْجُسَيْمِيَّةَ . ثُمَّ كَانَ لاكْتِشَافِ فِيزْيَاءِ الْكَمِّ فِي الْقَرْنِ الْعِشْرِين أَثَرُهُ فِي دَعْمِ النَّظَرِيَّتَيْنِ : حَيْثُ أَنَّهُ تَبَعًا لِطَرِيقَةِ الْقِيَاسِ وَالْمُلاحَظَةِ فَإِنَّ الضَّوْءَ يَتْبَعُ إِمَّا خَوَاصَّ الدَّقِيقَةِ أَو الْمَوْجَةِ .

وَلِلضَّوْءِ خَمْسُ خَوَاصَّ مُمَيِّزَةٍ : الانْتِشَارُ وَالانْعِكَاسُ وَالانْكِسَارُ وَالْحُيُودُ وَالتَّدَاخُلُ . والانْتِشَارُ هُوَ انْتِقَالُ الضَّوْءِ فِي خُطُوطٍ مُسْتَقِيمَةٍ . والانْعِكَاسُ هُوَ ارْتِدَادُ الضَّوْءِ عَلَى السُّطُوحِ الْمَصقُولَةِ كَالْمَرَايَا . وَيَنْكَسِرُ الضَّوْءُ أَوْ يَنْحَنِي عِنْدَمَا يَنْتَقِلُ مِن مَادَّةٍ إِلَى أُخْرَى ـــ مَثَلًا ـــ مِن الْهَوَاءِ إِلَى عَدَسَةٍ زُجَاجِيَّةٍ . كَمَا تَنْحَنِي مَوْجَاتُ الضَّوْءِ حَوْلَ حَوَافِّ حَاجِزٍ ، وَهِيَ ظَاهِرَةٌ تُسَمَّى الْحُيُودُ . وَفِي التَّدَاخُلِ . فَإِنَّ مَوْجَاتِ الضَّوْءِ الْمُتَقَاطِعَةَ تُغَيِّرُ بَعْضَهَا الْأُخْرَى عِنْدَمَا تَتَقَابَلُ . وَمِنْ مَجْمُوعِ هَذِهِ الْخَوَاصِّ يُمْكِنُ تَفْسِيرُ عَمَلِ أَجْهِزَةٍ كَثِيرَةٍ مِثْلِ الْعَدَسَاتِ الْمُكَبِّرَةِ ، وَاللِّيزَرِ ، وَالْهُولُوجِرَام .

الضِّيَاءُ الْمُبْهِرُ لِأَشِعَّةِ اللِّيزَرِ يُوضِّحُ أَحَدَ طُرُقِ تَحَكُّمِ الْعُلَمَاءِ فِي الضَّوْءِ . فَاللِّيزَر يُكَبِّرُ مَوْجَةً وَاحِدَةً مِن الضَّوْءِ لِيُنْتِجَ شُعَاعًا قَوِيًّا شَدِيدَ التَّرْكِيزِ يُسْتَفَادُ بِهِ فِي الطِّبِّ والصِّنَاعَةِ والاتِّصَالَاتِ .



كيف تؤثر السطوح المنحنية على الضوء ؟

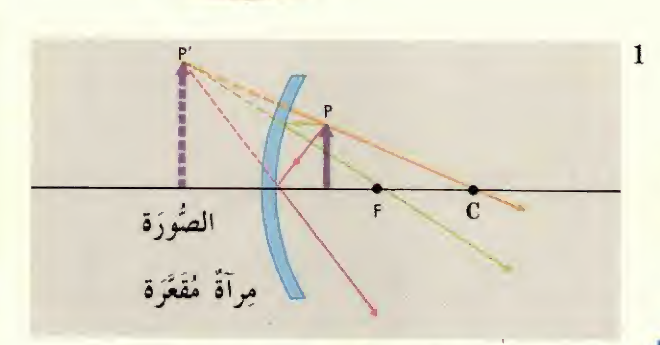
يَخْتَلِفُ انْعِكَاسُ الضَّوْءِ عَلَى السُّطُوحِ اللَّامِعَةِ طِبْقًا لِانْحِنَائِهَا . فَتَجْوِيفُ الْمِلْعَقَةِ مِنَ الدَّاخِلِ يُعْطِى انْعِكَاسَاتٍ مَقْلُوبَةً ، بَيْنَمَا ظَهْرُ هَذَا التَّجْوِيفِ يَعْكِسُ صُوَرًا مُعْتَدِلَةً . وَشَكْلُ السَّطْحِ الْعَاكِسِ هُوَ الَّذِى يُحَدِّدُ نَوْعَ الانْعِكَاسِ . فَالسُّطُوحُ الْمُقَعَّرَةُ مِثْلُ السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ لِتَجْوِيفِ الْمِلْعَقَةِ يَعْكِسُ عَادَةً صُوَرًا مَقْلُوبَةً أَمَّا السُّطُوحُ الْمُحَدَّبَةُ مِثْلُ السَّطْحِ الْخَارِجِيِّ لِتَجْوِيفِ الْمِلْعَقَةِ فَيَعْكِسُ عَادَةً صُوَرًا مُعْتَدِلَةً .

وَالْمَرَايَا الْمُقَعَّرَةُ تَعْكِسُ الْأَشِعَّةَ إِلَى الدَّاخِلِ لِتُجَمِّعَهَا فِى بُقْعَةٍ مُعَيَّنَةٍ تُسَمَّى الْبُؤْرَةَ . فَإِذَا كَانَ الْجِسْمُ مَوْضُوعًا بَيْنَ الْبُؤْرَةِ وَالْمِرْآةِ ، تَكُونُ صُورَتُهُ مُعْتَدِلَةً . وَإِذَا كَانَ الْجِسْمُ أَبْعَدَ مِنَ الْبُؤْرَةِ ، سَيَكُونُ انْعِكَاسُهُ مَقْلُوبًا . أَمَّا الانْعِكَاسُ عَلَى السُّطُوحِ الْمُحَدَّبَةِ ، فَهُوَ دَائِمًا مُعْتَدِلٌ ، لِأَنَّ هَذِهِ السُّطُوحَ تَعْكِسُ الْأَشِعَّةَ مُتَفَرِّقَةً وَلَا تُعْكِسُهَا مُتَجَمِّعَةً . وَلِذَلِكَ لَا تَتَقَاطَعُ الْأَشِعَّةُ الْمُنْعَكِسَةُ مُطْلَقًا ، وَبِالتَّالِى فَلَا تَتَكَوَّنُ صُوَرٌ مَقْلُوبَةٌ .



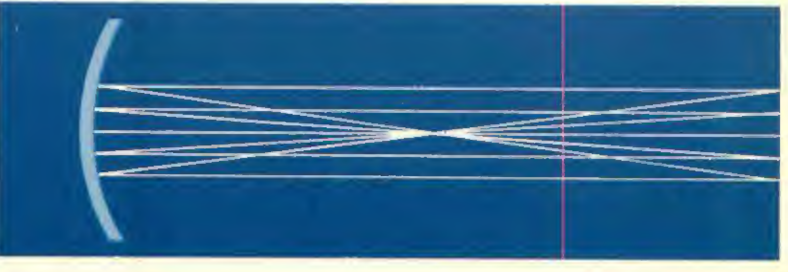


1



P = الجسم
P̀ الصورة
C = مركز التكور
F = البؤرة

تَظْهَرُ صُورَةٌ مُكَبَّرَةٌ مُعْتَدِلَةٌ (P) لِحيوانِ البَانْدَا بِالانعكاس عَلَى مِرْآةٍ مُقَعَّرَةٍ ، عِنْدَمَا يَكُونُ وَضْعُ البَانْدَا (P) بَيْنَ الْمِرْآةِ وَالْبُؤْرَةِ (F). وَتَتَكَوَّنُ الصُّورَةُ حَيْثُ يَتَقَابَلُ امْتِدَادُ الْأَشِعَّةِ الْمُنْعَكِسَةِ .



أَشِعَّةٌ مُتَوَازِيَةٌ سَاقِطَةٌ عَلَى سَطْحِ مِرْآةٍ مُقَعَّرَةٍ تَتَجَمَّعُ فِى الْبُؤْرَةِ بَعْدَ انْعِكَاسِهَا عَلَى هَذَا السَّطْحِ .

3

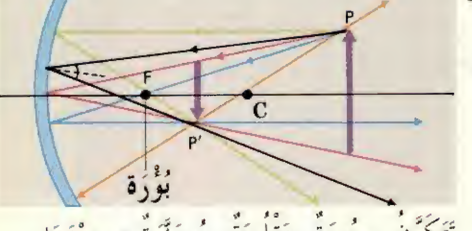


يَكُونُ الانْعِكَاسُ مَقْلُوبًا أَيْضًا عِنْدَمَا تُوضَعُ الْبَانْدَا عِنْدَ مَرْكَزِ تَكَوُّرِ سَطْحِ الْمِرْآةِ ، وَلَكِنَّ الصُّورَةَ تَظْهَرُ فِي حَجْمٍ مُسَاوٍ لِلْجِسْمِ .

4

3

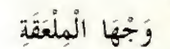
4



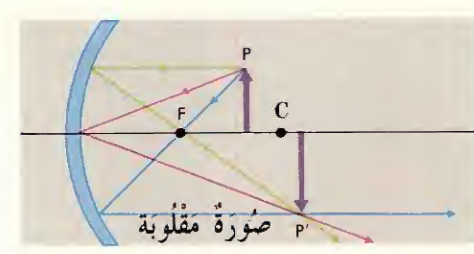
تَتَكَوَّنُ صُورَةٌ مَقْلُوبَةٌ مُصَغَّرَةٌ ، عِنْدَمَا تُوضَعُ الْبَانْدَا ، أَبْعَدَ مِنْ مَرْكَزِ تَكَوُّرِ الْمِرْآةِ .



2



2



عِنْدَمَا تُوضَعُ الْبَانْدَا بَيْنَ بُؤْرَةِ الْمِرْآةِ وَمَرْكَزِ التَّكَوُّرِ ، يَكُونُ الانْعِكَاسُ مَقْلُوبًا أَيْضًا ، وَتَظْهَرُ صُورَةٌ مَقْلُوبَةٌ مُكَبَّرَةٌ .

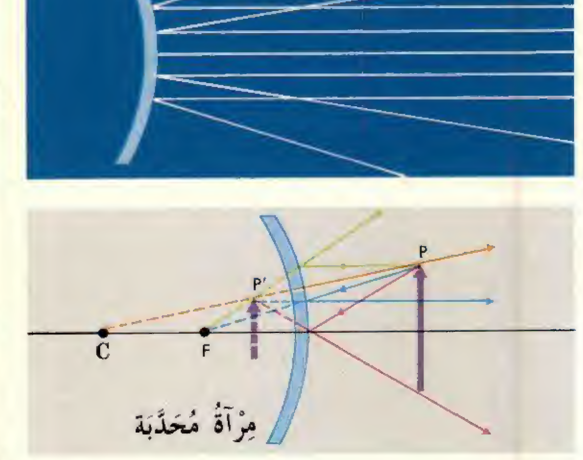
وَجْهَا الْمِلْعَقَةِ

السَّطْحَانِ الدَّاخِلِيُّ وَالْخَارِجِيُّ لِتَجْوِيفِ الْمِلْعَقَةِ يَعْمَلانِ كَسَطْحَيْنِ مُقَعَّرٍ وَمُحَدَّبٍ لِمِرْآةٍ كُرِيَّةٍ . وَلأَنَّ بُؤْرَةَ تَجْوِيفِ الْمِلْعَقَةِ قَرِيبَةٌ جِدًّا مِنَ الْمِلْعَقَةِ ، فَإِنَّ جَمِيعَ الصُّوَرِ الْمُنْعَكِسَةِ عَلَى السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ الْمُقَعَّرِ تَكُونُ دَائِمًا مَقْلُوبَةً . أَمَّا السَّطْحُ الْخَلْفِيُّ الْمُحَدَّبُ فَيُحْدِثُ دَائِمًا صُوَرًا مُنْعَكِسَةً مُعْتَدِلَةً وَمُصَغَّرَةً .



الصُّورَةُ فِي مِرْآةٍ مُحَدَّبَةٍ

مَهْمَا كَانَ بُعْدُ الْجِسْمِ عَنِ الْمِرْآةِ الْمُحَدَّبَةِ ، فَإِنَّ الصُّورَةَ الْمُتَكَوِّنَةَ بِوَاسِطَتِهَا تَكُونُ دَائِمًا مُعْتَدِلَةً وَمُصَغَّرَةً . وَلأَنَّ الْمَرَايَا الْمُحَدَّبَةَ تُعْطِي مَجَالًا أَكْبَرَ لِلرُّؤْيَةِ (يسار) مِنَ الْمَرَايَا الْمُسْتَوِيَةِ ، فَإِنَّهَا تُسْتَخْدَمُ فِي السَّيَّارَةِ لِيَرَى السَّائِقُ الطَّرِيقَ خَلْفَهُ .





كيف تعمل العدسة المكبرة ؟

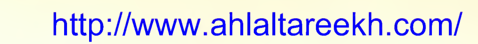
تَتكَوَّنُ الْعَدَسَةُ الْمُكَبِّرَةُ مِنْ عَدَسَةٍ مُحَدَّبَةِ الْوَجْهَيْنِ ، يَنْحَنِى سَطْحَاها إلى الخارِجِ . وَالْأَشِعَّةُ الَّتِى تَمُرُّ فِى الْعَدَسَةِ تَنْكَسِرُ إِلَى الدَّاخِلِ مُتَجَمِّعَةً فِى بُؤْرَةٍ عَلَى كُلٍّ مِنْ جَانِبَى الْعَدَسَةِ . وَالْمَسَافَةُ بَيْنَ الْبُؤْرَةِ وَمَرْكَزِ الْعَدَسَةِ تُسَمَّى الْبُعْدَ الْبُؤْرِىَّ لِلْعَدَسَةِ ، وَهُوَ عَادَةً حَوَالَىْ ٥ بُوصَاتٍ فِى الْعَدَسَةِ الْمُكَبِّرَةِ النَّمَطِيَّةِ . وَإِذَا وُضِعَتْ عَدَسَةٌ مُكَبِّرَةٌ فَوْقَ جِسْمٍ وَعَلَى بُعْدٍ أَقَلَّ مِنْ بُعْدِهَا الْبُؤْرِىِّ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ يَبْدُو مُكَبَّرًا وَمُعْتَدِلًا . وَهَذَا النَّوْعُ مِن الصُّوَرِ يُسَمَّى صُوَرًا تَقْدِيرِيَّةً . وَلَكِنْ عَلَى بُعْدٍ يُسَاوِى الْبُعْدَ الْبُؤْرِىَّ لِلْعَدَسَةِ أَوْ يَزِيدُ ، فَإِنَّ الْعَدَسَةَ تُكَوِّنُ صُوَرًا مَقْلُوبَةً ، تُسَمَّى صُوَرًا حَقِيقِيَّةً .

عَلَى بُعْدٍ مِن الْعَدَسَةِ يُسَاوِى ضِعْفَ الْبُعْدِ الْبُؤْرِىِّ لِلْعَدَسَةِ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ (سهم أرجوانى) يَظْهَرُ كَصُورَةٍ حَقِيقِيَّةٍ مَقْلُوبَةٍ وَفِى نَفْسِ حَجْمِ الْجِسْمِ .

إِذَا كَانَ الْجِسْمُ أَقْرَبَ إِلَى الْعَدَسَةِ مِنْ بُؤْرَتِهَا (F)، فَإِنَّ الْعَدَسَةَ تُظْهِرُ صُورَةً تَقْدِيرِيَّةً (أرجوانى متقطع) مُعْتَدِلَةً وَمُكَبَّرَةً .

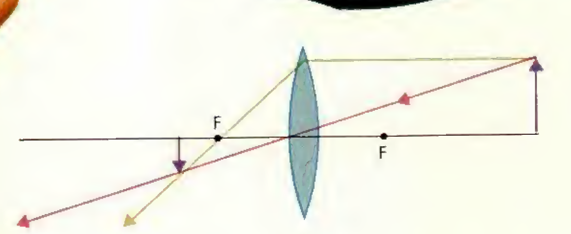
عَدَسَاتٌ مُحَدَّبَة

تَسْتَخْدِمُ مُعْظَمُ التِّلِسْكُوبَاتِ عَدَسَتَيْنِ مُحَدَّبَتَى الْوَجْهَيْنِ ، تُسَمَّيَانِ الْعَدَسَةَ الشَّيْئِيَّةَ وَالْعَدَسَةَ الْعَيْنِيَّةَ . والشَّيْئِيَّةُ تُكَوِّنُ صُورَةً حَقِيقِيَّةً لِلْجِسْمِ تُكَبِّرُهَا الْعَيْنِيَّةُ لِيُمْكِنَ رُؤْيَتُهَا .





عَدَسَةٌ مُحَدَّبَةٌ تُكَبِّرُ الْأَشْيَاءَ ، وَعَدَسَةٌ مُقَعَّرَةٌ تُصَغِّرُ الْأَشْيَاءَ .



إِذَا كَانَ الْجِسْمُ أَبْعَدَ مِنْ ضِعْفِ الْبُعْدِ الْبُؤْرِيِّ ، فَإِنَّهُ يَظْهَرُ مَقْلُوبًا وَمُصَغَّرًا .

عَدَسَاتٌ مُقَعَّرَةٌ

إِذَا نَظَرْتَ إِلَى الجِسمِ مِن خِلالِ عَدَسَةٍ مُقَعَّرَةِ الوَجْهَيْنِ قَرِيبَةً مِن الجِسْمِ ، فَإِن الجِسْمَ يَبْدُو مُصَغَّرًا . لأَنَّ الْعَدَسَةَ الْمُقَعَّرَة الْوَجْهَيْنِ تُكَوِّنُ صُوَرًا تَقْدِيرِيَّةً مُعْتَدِلَةً وَحَجْمُهَا أَصْغَرُ مِنْ حَجْمِ الْجِسْمِ .



كيف تقاس سرعة الضوء ؟

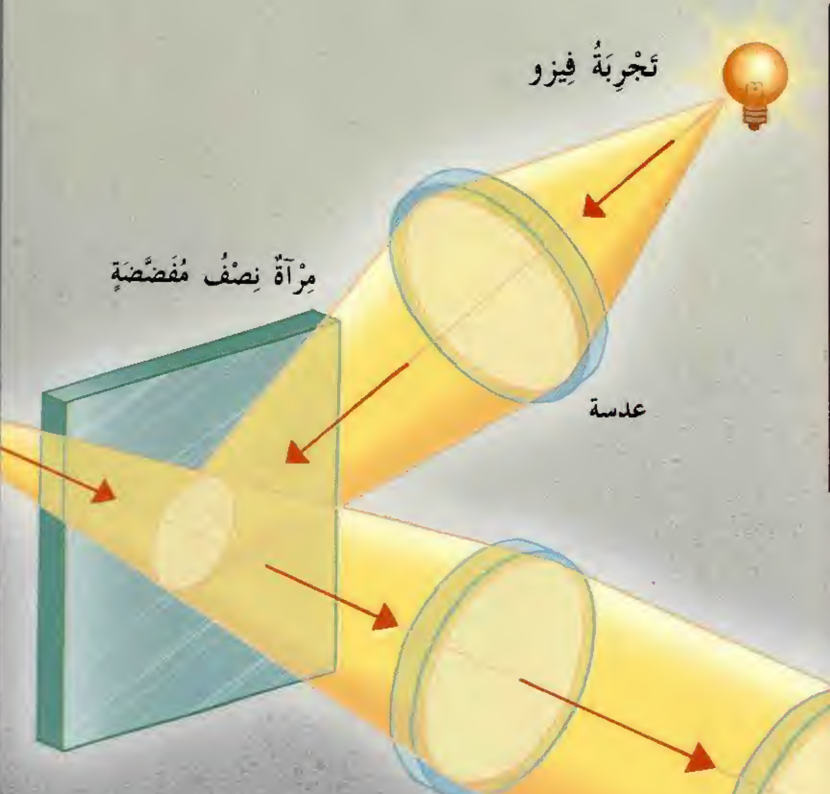
فِي عَام ١٦٧٦ قَامَ الْفَلَكِيُّ الدَّانِمَرْكِيُّ «أُولْ رومر» بِأَوَّلِ مُحَاوَلَةٍ لِتَقْدِيرِ سُرْعَةِ الضَّوْءِ . فَقَدْ لَاحَظَ رُومَر اخْتِلَافًا فِي الْأَزْمِنَةِ الدَّوْرِيَّةِ الظاهِرية لِأَقْمَارِ الْمُشْتَرى ، وَاسْتَنْتَجَ أَنَّ حَرَكَةَ الْأَرْضِ سَوَاءٌ فِي اقْتِرَابِهَا أَو ابْتِعَادِهَا عَن الْمُشْتَرِى ، قَدْ غَيَّرت الْمسافَةَ الَّتِي يَقْطَعُهَا الضَّوْءُ الصَّادِرُ مِنْ أَقْمَارِ الْمُشْتَرِى . وَمِنْ هَذَا الاخْتِلَافِ تَوَصَّلَ إِلَى أَنَّ سُرْعَةُ الضَّوْءِ كَانَتْ ١٣٦٦٤٦ ميل/ثانية .

وَفِي عَامِ ١٨٤٩، قَاسَ الْفِيزْيَائِيُّ الفَرَنْسِيُّ «أَرْمَانْد فِيزُو» سُرْعَةَ الضَّوْءِ بِطَرِيقَةٍ غَيْرِ فَلَكِيَّةٍ وَقَدَّرَهَا ١٩٤٤١٠ ميل/ثانية .

وَيَتَركَّبُ جِهَازُ فِيزُو (أسفل) مِنْ مَصْدَرٍ ضَوْئِيٍّ ، وَمِرآةٍ نِصْفِ مُفَضَّضَةٍ ــ تَعْكِسُ فَقَطْ نِصْفَ الضَّوْءِ السَّاقِطِ عَلَيْهَا وَتُنفِذُ الْبَاقِى ، وَعَجَلَةٍ مُسَنَّنَةٍ دَوَّارةٍ بِسُرعَاتٍ مُختلفةٍ ، وَمِرْآةٍ ثَابِتَةٍ . فَبِسُقُوطِ الضَّوْءِ عَلَى الْمِرْآةِ نِصْفِ الْمُفَضَّضَةِ ، فَإِنَّهَا تَعْكِسُهُ إِلَى الْعَجَلَةِ الْمُسَنَّنَةِ الَّتى تُقَطِّعُهُ بِسُرْعَتِهَا الْكَبِيرَةِ إِلَى أَشِعَّةٍ .

وَتَتِمُّ الْمُحَافَظَةُ عَلَى مَسَارِ هَذِهِ الْأَشِعَّةِ بِدِقَّةٍ بِوَاسِطَةِ عَدَسَاتٍ مُحَدَّبَةٍ ، بِحَيْثُ أَنَّ كُلَّ شُعَاعٍ يَمُرُّ مِن الْعَجَلَةِ الْمُسَنَّنَةِ يَمُرُّ خِلَالَ الْعَدَسَاتِ لِيَنْعَكِسَ عَلَى الْمِرْآةِ السَّاكِنَةِ وَيَعُودَ فِي نَفْسِ الْمَسَارِ إِلَى الْعَجَلةِ الْمُسَنَّنَة . وَبِضَبْطِ سُرْعَةِ الْعَجَلةِ الْمُسَنَّنَةِ بِحَيْثُ يُحْجَزُ الشُّعَاعُ الْعَائِدُ عِنْدَ التُّرُوسِ ، تَمَكَّنَ فِيزُو مِن حِسَابِ سُرْعَةِ الضَّوْءِ . ١٨٥٠٩٣ ميل/ثانية ، وَهُوَ رَقْمٌ يَقْتَرِبُ كَثِيرًا مِن الْقِيمَةِ الْحَالِيَّةِ وَهِى ١٨٦٢٨٢ ميل/ثانية الَّتِي تَمَّ قِيَاسُهَا بِضَرْبِ طُولِ مَوْجَةِ شُعَاعِ لِيزَر × تَرَدُّدِهِ .

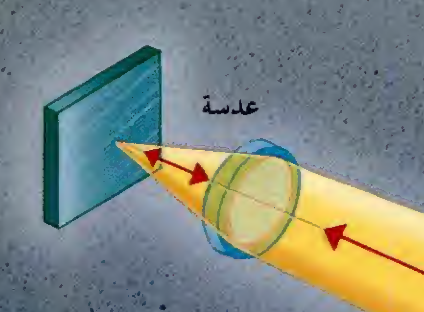
فِي الشَّكْلِ الْعُلْوِيِّ ، يَمُرُّ الشُّعَاعُ وَيَعُودُ إِلَى نَفْسِ فُتْحَةِ الْعَجَلَةِ الْمُسَنَّنَةِ إِذَا كَانت الْعَجَلَةُ تَدُورُ بِبُطْءٍ (سفلى). وَلَكِنْ إِذَا دَارَت الْعَجَلَةُ بِسُرْعَةٍ (علوى) فَإِنَّ الضَّوْءَ الْمُنْعَكِسَ يَحْجِزُهُ سِنُّ الْعَجَلةِ .





نَتائِجُ فِيزُو

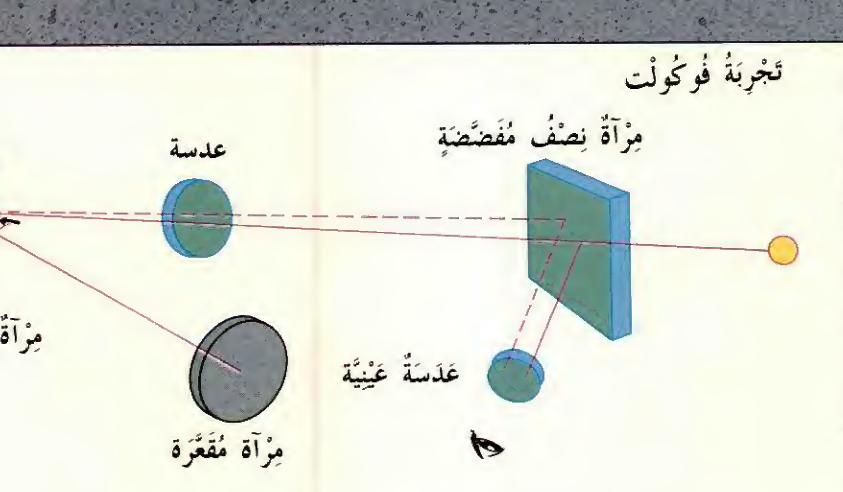
عِنْدَمَا وَضَعَ فِيزُو الْمِرْآةَ السَّاكِنَةَ عَلَى بُعْدِ ٥,٣٧ مِيلًا ، لَزِمَ أَنْ يُدِيرَ الْعَجَلَةَ الْمُسَنَّنَةَ بِسُرْعَةِ ١٢,٦ دَوْرَةً/ثَانِيةً لِتَحْجزَ الشُّعَاعَ الْمُنْعَكِسَ . وَبِحِسَابِ الْمسافَةِ الَّتِى تَدُورُهَا الْعَجَلَةُ الْمُسَنَّنَةُ لِتَحْجزَ الضَّوْءَ ، وهى عَرْضُ الفَجْوةِ بَيْنَ سِنَّيْنِ مُتَتالِيَيْنِ فِى العَجَلِةِ — وَجَدَ أَنَّ الشُّعَاعَ اسْتَغْرَقَ ٠,٠٠٠٠٥٥٢ ثَانِيَةً لِيَتَحَرَّكَ مِن الْعَجَلَةِ الْمُسَنَّنَةِ إِلَى الْمِرْآةِ ذَهَابًا وَإِيَابًا . وَبِقِسْمَةِ هَذِهِ لْمسافَةِ (١٠,٧٤ ميل) عَلَى الزَّمَنِ وَجَدَ أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوْءِ ١٩٤٤١٠ ميل/ثانية .



عدسة

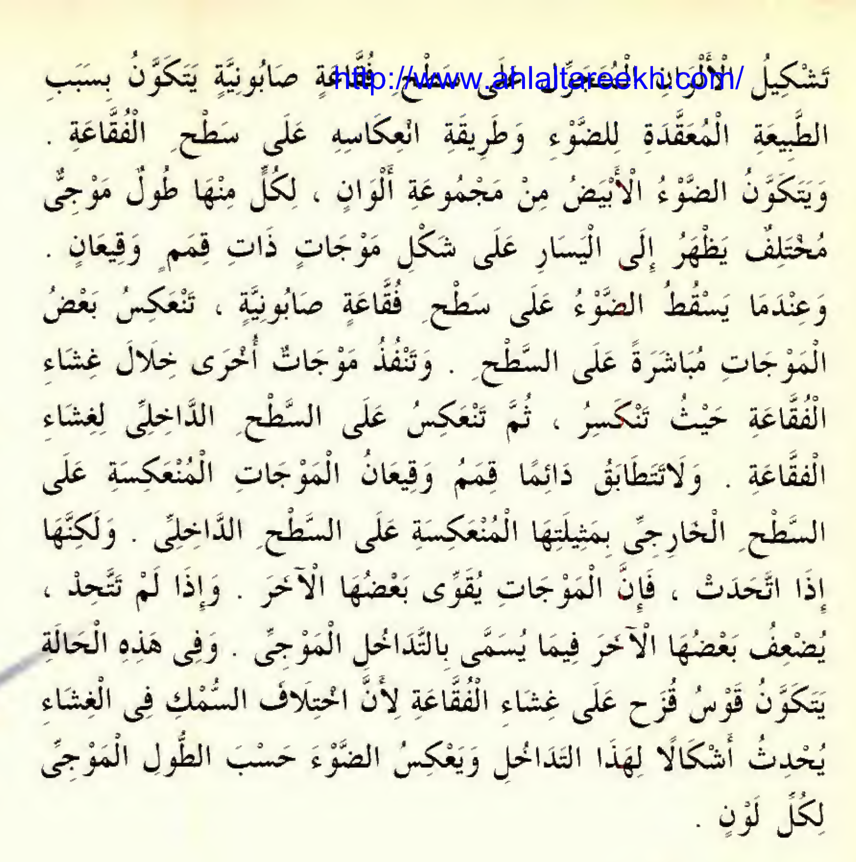
عَجَلَةٌ مُسَنَّنَةٌ دَوَّارَة

إِغْلاقُ مِلَفِّ سُرْعَةِ الضَّوْءِ . اخْتِرَاعُ اللِّيزَر (ص ١٢٢ — ١٢٣) سَاعَدَ الْعُلَمَاءَ عَلَى قِيَاسِ سُرْعَةِ الضَّوْءِ بِدِقَّةٍ مُتَنَاهِيَةٍ . فَفِى عَامِ ١٩٧٢ حَدَّدَ عُلَمَاءُ الْمَعْهَدِ الْقَوْمِىِّ لِلتِّكْنُولُوجْيَا وَالْقِيَاسِيَّاتِ ، طُولَ الْمَوْجَةِ وَالتَّرَدُّدَ لِشُعَاعِ لِيزَرِ ، وَحَدَّدُوا سُرْعَةَ الضَّوْءِ بِضَرْبِ هَذَيْنِ العَامِلَيْنِ وَحَصَلُوا عَلَى ٢٩٩٧٩٢٥٨ متر/ثانية أو ١٨٦٢٨٢ ميل/ثانية . وَلِذَلِكَ حَدَّدَ الْمُؤْتَمَرُ الْعَامُّ لِلْأَوْزَانِ وَالْمَقَايِيسِ طُولَ الْمِتْرِ أو ٣,٣ قدم بِأَنَّهُ الْمَسَافَةُ الَّتِى يَقْطَعُهَا الضَّوْءُ فى ١/٢٩٩٩٧٢٤٥٨ ثانية . وَهُوَ أَدَقُّ قِيَاسٍ لِلْمِتْرِ .



فِى عَامِ ١٨٥٠ ، حَسَّنَ الْفِيزْيَائِىُّ الْفَرَنْسِىُّ فُوكُولْت طَرِيقَةَ فِيزُو فاسْتَبْدَلَ الْعَجَلَةَ الْمُسَنَّنَةَ بِمِرْآةٍ دَوَّارَةٍ . وَلَا يُمْكِنُ لِلْمُرَاقِبِ أَنْ يَكْتَشِفَ أَىَّ ضَوْءٍ مِن الْمَنْبَعِ إِلَّا إِذَا دَارَت الْمِرْآةُ دَوْرَةً كامِلَةً (٣٦٠°) بَيْنَ زَمَنِ خُرُوجِ الشُّعَاعِ وعَوْدَتِهِ . وَتَوَصَّلَ فُوكُولت إِلَى أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوْءِ ١٨٥٠٩٣ ميل/ثانية .

لماذا نرى فقاعات الصابون ملونة ؟



تَشْكِيلُ الْأَلْوَانِ [illegible] عَلَى سَطْحِ فُقَّاعَةٍ صَابُونِيَّةٍ يَتَكَوَّنُ بِسَبَبِ الطَّبِيعَةِ الْمُعَقَّدَةِ لِلضَّوْءِ وَطَرِيقَةِ انْعِكَاسِهِ عَلَى سَطْحِ الْفُقَّاعَةِ . وَيَتَكَوَّنُ الضَّوْءُ الْأَبْيَضُ مِنْ مَجْمُوعَةِ أَلْوَانٍ ، لِكُلٍّ مِنْهَا طُولٌ مَوْجِيٌّ مُخْتَلِفٌ يَظْهَرُ إِلَى الْيَسَارِ عَلَى شَكْلِ مَوْجَاتٍ ذَاتِ قِمَمٍ وَقِيعَانٍ . وَعِنْدَمَا يَسْقُطُ الضَّوْءُ عَلَى سَطْحِ فُقَّاعَةٍ صَابُونِيَّةٍ ، تَنْعَكِسُ بَعْضُ الْمَوْجَاتِ مُبَاشَرَةً عَلَى السَّطْحِ . وَتَنْفُذُ مَوْجَاتٌ أُخْرَى خِلَالَ غِشَاءِ الْفُقَّاعَةِ حَيْثُ تَنْكَسِرُ ، ثُمَّ تَنْعَكِسُ عَلَى السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ لِغِشَاءِ الْفُقَّاعَةِ . وَلَاتَتَطَابَقُ دَائِمًا قِمَمُ وَقِيعَانُ الْمَوْجَاتِ الْمُنْعَكِسَةِ عَلَى السَّطْحِ الْخَارِجِيِّ بِمَثِيلَتِهَا الْمُنْعَكِسَةِ عَلَى السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ . وَلَكِنَّهَا إِذَا اتَّحَدَتْ ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ يُقَوِّي بَعْضُهَا الْآخَرَ . وَإِذَا لَمْ تَتَّحِدْ ، يُضْعِفُ بَعْضُهَا الْآخَرَ فِيمَا يُسَمَّى بِالتَّدَاخُلِ الْمَوْجِيِّ . وَفِي هَذِهِ الْحَالَةِ يَتَكَوَّنُ قَوْسُ قُزَح عَلَى غِشَاءِ الْفُقَّاعَةِ لِأَنَّ اخْتِلَافَ السُّمْكِ فِي الْغِشَاءِ يُحْدِثُ أَشْكَالًا لِهَذَا التَّدَاخُلِ وَيَعْكِسُ الضَّوْءَ حَسْبَ الطُّولِ الْمَوْجِيِّ لِكُلِّ لَوْنٍ .

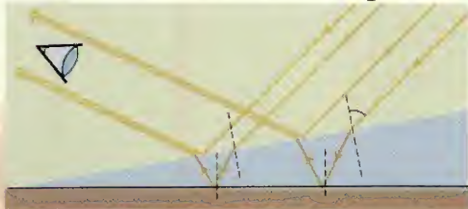
طَيْفُ الضَّوْءِ الْأَبْيَضِ

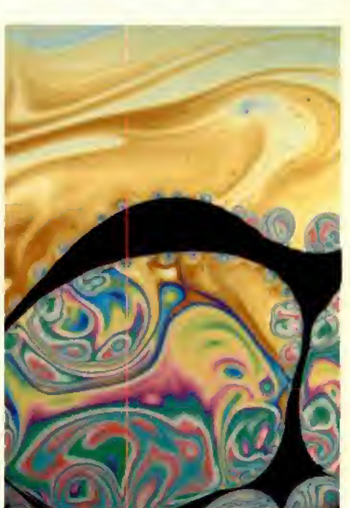
عِنْدَمَا يَمُرُّ الضَّوْءُ الْأَبْيَضُ فِي مَنْشُورٍ ثُلَاثِيٍّ (أسفل)، فَإِنَّ الضَّوْءَ يَتَحَلَّلُ إِلَى مُكَوِّنَاتِهِ اللَّوْنِيَّة : الْأَحْمَرُ الْمَعْرُوفُ ، وَالْبُرْتُقَالِيُّ ، وَالْأَصْفَرُ ، وَالْأَخْضَرُ ، وَالْأَزْرَقُ ، والنِّيلِيُّ ، وَالْبَنَفْسَجِيُّ ، وَهِيَ أَلْوَانُ قَوْسِ قُزَح . وَتَنْكَسِرُ أَقْصَرُ الْموجَاتِ بِزَاوِيَةٍ أَكْبَرَ مِن انْكِسَارِ أَطْوَلِ الْمَوجَاتِ . فَيَكُونُ انْكِسَارُ الْبَنَفْسَجِيِّ ـــ أَقْصَرِ الْمَوْجَاتِ ـــ أَكْبَرَ مَايُمْكِنُ ، وَانْكِسَارُ الْأَحْمَرِ ـــ أَطْوَلِ الْمَوْجَاتِ ـــ أَقَلَّ مَايُمْكِنُ .



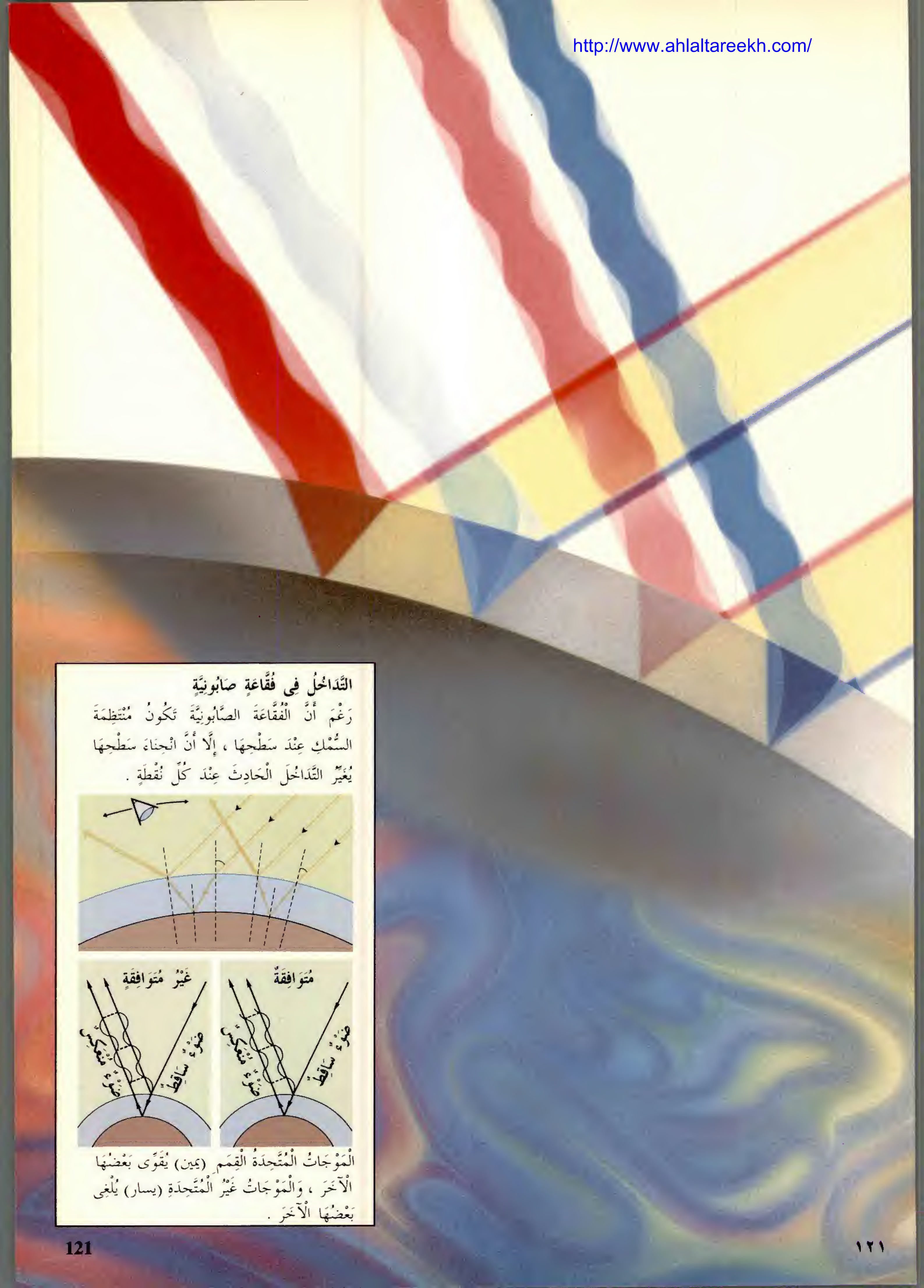
تَدَاخُلٌ فِي غِشَاءٍ مِن الزَّيْتِ

تَنْشَأُ الْأَلْوَانُ عَلَى غِشَاءٍ رَقِيقٍ مِن الزَّيْتِ ، بِسَبَبِ التَّدَاخُلِ . وَتَتَوَقَّفُ عَلَى سُمْكِ الْغِشَاءِ ، وَعَلَى زَاوِيَةِ سُقُوطِ الضَّوْءِ (أسفل). وَيَظْهَرُ سَوَادٌ (عَتَامَةٌ) فِي الْأَمَاكِنِ الَّتِي تُلْغِي فِيهَا جَمِيعُ مَوْجَاتِ الضَّوْءِ بَعْضُهَا الْبَعْضَ .





تَظْهَرُ دُوَّامَاتٌ مِن الْأَلْوَانِ عَلَى غِشَاءِ الزَّيْتِ .



التَّدَاخُلُ فِى فُقَّاعَةٍ صابُونِيَّةٍ

رَغْمَ أَنَّ الْفُقَّاعَةَ الصَّابُونِيَّةَ تَكُونُ مُنْتَظِمَةَ السُّمْكِ عِنْدَ سَطْحِهَا ، إِلَّا أَنَّ انْحِنَاءَ سَطْحِهَا يُغَيِّرُ التَّدَاخُلَ الْحَادِثَ عِنْدَ كُلِّ نُقْطَةٍ .

الْمَوْجَاتُ الْمُتَّحِدَةُ الْقِمَمِ (يمين) يُقَوِّى بَعْضُهَا الْآخَرَ ، وَالْمَوْجَاتُ غَيْرُ الْمُتَّحِدَةِ (يسار) يُلْغِى بَعْضُهَا الْآخَرَ .

مَا هُوَ اللَّيزَرُ ؟

اللَّيزَرُ هُوَ جِهَازٌ يُنْتِجُ شُعَاعًا ضَيِّقًا مِنْ ضَوْءٍ شَدِيدِ التَّرْكِيزِ . وَيُسْتغَلُّ اللَّيزَرُ مِن الْحَقِيقَةِ الْقَائِلَةِ بِأَنَّ إِلِكْتُرونَاتِ ذَرَّةٍ يُمْكِنُهَا أَنْ تَشْغَلَ فَقَطْ مَدَارَاتٍ مُعَيَّنَةً حَوْلَ النَّوَاةِ . وَعِنْدَمَا تَسْتَقْبِلُ ذَرَّةٌ دُفْعَةً مُفَاجِئَةً مِن الطَّاقَةِ ، قَدْ تُثَارُ ، فَتَدْفَعُ إِلِكْتُرونَاتِهَا مِنْ أَقَلِّ مُسْتَوَيَاتِ الطَّاقَةِ الَّتِي تُسَمَّى الْحَالَةَ الْأَرْضِيَّةَ إِلَى أَحَدِ مُسْتَوَيَاتِ الطَّاقَةِ الْأَعْلَى . وَلَكِنَّ الْإِلِكْتُرونَاتِ لَا يُمْكِنُهَا الْبَقَاءُ طَوِيلًا فِي مَدَارٍ عَالِي الطَّاقَةِ ، فَتَعُودُ مَرَّةً أُخْرَى إِلَى حَالَتِهَا الْاعْتِيَادِيَّةِ ، وَيُطْلِقُ كُلُّ إِلِكْتُرونٍ فُوتُونًا أَوْ مَوْجَةً ضَوْئِيَّةً فِي هَذِهِ الْعَمَلِيَّةِ . وَبِمُجَرَّدِ أَنْ تَبْدَأَ ذَرَّةٌ هَذَا ، فَإِنَّهَا تُثِيرُ تَفَاعُلًا مُتَسَلْسِلًا لِإِلِكْتُرونَاتٍ أُخْرَى تَهْبِطُ ، وَتُنْتِجُ قَدْرًا هَائِلًا مِنْ مَوْجَاتِ الضَّوْءِ الْمُتَمَاثِلَةِ الْمُتَّحِدَةِ الاتِّجَاهِ . وَتُكَوِّنُ هَذِهِ الْمَوْجَاتُ شُعَاعًا قَوِيًّا ، لِدَرَجَةِ أَنَّهُ فِي بَعْضِ أَنْوَاعِ اللَّيزَرِ يَكُونُ قَادِرًا عَلَى احْتِرَاقِ الْأَحْجَارِ وَالْمَعَادِنِ . وَقَد اخْتُرِعَ اللَّيزَرُ عَامَ ١٩٦٠ . وَيُسْتَخْدَمُ فِي مَجَالَاتٍ مُتَنَوِّعَةٍ : فِي الطِّبِّ لِتَبْخِيرِ الْأَوْرَامِ ، وَفِي الْمُوسِيقَى لِحَفْرِ وَقِرَاءَةِ الْإِشَارَاتِ عَلَى الْأَقْرَاصِ الْمَضْغُوطَةِ .

أُنْبُوبُ تَفْرِيغٍ كَهْرَبِيّ

مِرْآةٌ شَفَّافَةٌ جُزْئِيًّا

يَاقُوتٌ

تَرْكِيزٌ أَقْوَى

يَحْتَوِي شُعَاعُ اللَّيزَرِ عَلَى طُولٍ مَوْجِيٍّ وَاحِدٍ مِنَ الضَّوْءِ وَيُمْكِنُ تَرْكِيزُهُ بِشِدَّةٍ فِي نُقْطَةٍ وَاحِدَةٍ بِاسْتِخْدَامِ عَدَسَةٍ (يسار). أَمَّا الضَّوْءُ الْعَادِيُّ الْمُحْتَوِي عَلَى عِدَّةِ أَطْوَالٍ مَوجِيَّةٍ ، فَلَا يُمكِنُ تَرْكِيزُهُ بِهَذِهِ الشِّدَّةِ (أقصى يسار) . وَمِنْ أَهَمِّ مُمَيِّزَاتِ اللَّيزَرِ قُدْرَتُهُ عَلَى تَرْكِيزِ قَدْرٍ كَبِيرٍ مِنَ الطَّاقَةِ فِي بُقْعَةٍ بَالِغَةِ الصِّغَرِ ، وَكَذَلِكَ انْتِقَالُهُ لِمَسَافَاتٍ طَوِيلَةٍ بِقُدْرَةٍ مُنْخَفِضَةٍ دُونَ أَنْ يَتَفَرَّقَ أَوْ يَضْعُفَ مِثْلَ الضَّوْءِ الْعَادِيِّ مُتَعَدِّدِ الْأَلْوَانِ .

ضَوْءُ لِيزَر (لون واحد)

ضَوْءٌ عَادِيٌّ (ألوان كثيرة)

مِرْآة عَادِيَة

لِيزَرُ الْحَالَةِ الْجَامِدَةِ

يَتَكَوَّنُ مُعْظَمُ اللِّيزَر مِن أُنْبُوبٍ بِدَاخِلِهِ بِلُورَةٌ جَامِدَةٌ مِثْلُ الْيَاقُوتِ (يمين)، وَيُغْلَقُ طَرَفَاهُ بِمِرْآةٍ عَادِيَّةٍ وَمِرْآةٍ شَفَّافَةٍ جُزْئِيًّا . وَتُثَارُ ذَرَّاتُ الْبِلُّورَةِ بِوَاسِطَةِ مِلَفٍّ كَهْرَبِيٍّ فَتَنْطَلِقُ مَوْجَاتُ الضَّوْءِ الَّتِي تَنْعَكِسُ غُدُوًّا وَرَوَاحًا بَيْنَ الْمِرآتَيْنِ ، حَتَّى تُصْبِحَ قُوَّتُهَا كَافِيَةً لِلنَّفَاذِ مِن الْمِرْآةِ الشَّفَّافَةِ جُزْئِيًّا .

بِنَاءُ شُعَاعِ لِيزَر

أُنْبُوبُ تَفْرِيغٍ كَهْرَبِيٍّ

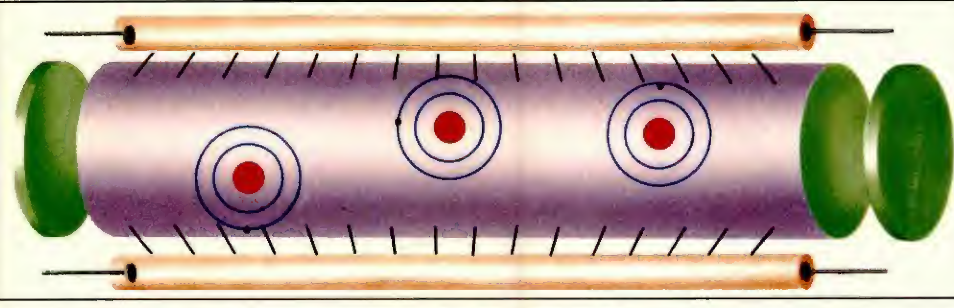
ذَرَّة

مِرْآة شَفَّافَة جُزْئِيًّا

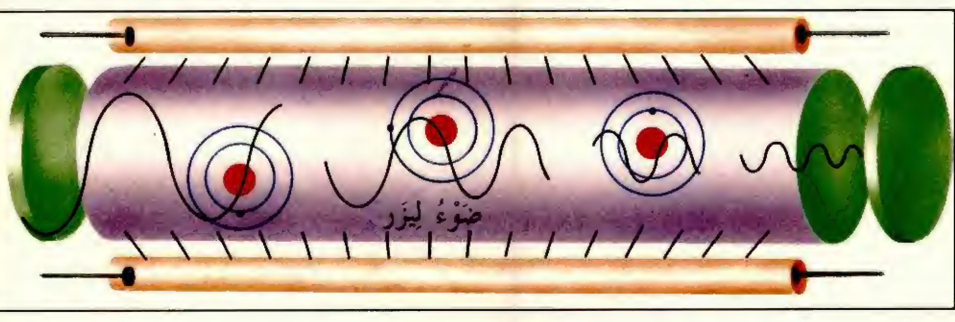
مِرْآة عَادِيَّة

أُنْبُوبُ تَفْرِيغٍ كَهْرَبِيٍّ

١ ــ تَسْتَقِرُّ إِلِكْتُرُونَاتُ (نُقَطٌ سَوْدَاءُ) كُلِّ ذَرَّةٍ فِي الْحَالَةِ الْأَرْضِيَّةِ قَبْلَ تَشْغِيلِ اللِّيزَرِ .



٢ ــ بِتَشْغِيلِ اللِّيزَرِ ، تَنْتَقِلُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ إِلَى مَدَارَاتٍ أَعْلَى طَاقَةً (الدَّوائر الْخَارِجِيَّة) بِوَاسِطَةِ الطَّاقَةِ الْمُنْبَعِثَةِ مِنْ أُنْبُوبِ التَّفْرِيغِ .



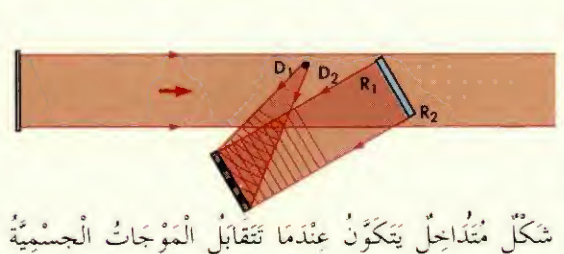
٣ ــ عِنْدَمَا تَسْقُطُ الْإِلِكْتُرونَاتُ إِلَى الْحَالَةِ الْأَرْضِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تَبْعَثُ ضَوْءًا ، وَتَحُثُّ إِلِكْتُرُونَاتٍ أُخْرَى عَلَى عَمَلِ نَفْسِ الشَّيْءِ . والشُّعَاعُ النَّاتِجُ لَهُ طُولٌ مَوْجِيٌّ وَاحِدٌ ، وَتَزْدَادُ قُوَّتُهُ بِسُقُوطِ مَزِيدٍ مِن الْإِلِكْتُرُونَاتِ .

ما هو الهولوجرام ؟

الْهُولُوجرَام هُوَ صُورَةٌ تُحْدِثُ مُجَسَّمًا ذَا ثَلَاثَةِ أَبْعَادٍ عِنْدَمَا يَسْقُطُ الضَّوْءُ عَلَيْهَا . وَتَبْدَأُ عَمَلِيَّةُ عَمَلِ الْهُولُوجرَام بِأَنْ تَقُومَ مِرْآةٌ نِصْفُ شَفَافَةٍ بِقِسْمَةِ ضَوْءِ لِيزَرٍ إِلَى شُعَاعَيْنِ يُسَمَّيَانِ الْمَوْجَةَ الْجِسْمِيَّةَ وَالْمَوْجَةَ الْمَرْجِعِيَّةَ . وَالْمَوْجَةُ الْجِسْمِيَّةُ تَنْعَكِسُ عَلَى الْجِسْمِ الْمُصَوَّرِ ثُمَّ تَتَوَجَّهُ نَحْوَ فِيلْمٍ خَاصٍّ ، بَيْنَمَا تَتَجَنَّبُ الْمَوْجَةُ الْمَرْجِعِيَّةُ الْجِسْمَ وَتَتَّجِهُ مُبَاشَرَةً إِلَى الْفِيلْمِ . وَعِنْدَمَا تَتَقَابَلُ الْموجَتَانِ مَعًا مَرَّةً ثَانِيَةً ، تَتَّحِدَانِ عَلَى الْفِيلْمِ لِتُكَوِّنَا شَكْلًا مُتَدَاخِلًا وَاحِدًا يُدَوِّنُ الْمَعْلُومَاتِ عَنِ الْجِسْمِ فِي أَبْعَادٍ ثَلَاثَةٍ . وَبِإِسْقَاطِ شُعَاعِ لِيزَر عَلَى الْهُولُوجرام الْمُحَمَّضِ تَنْعَكِسُ الْعَمَلِيَّةُ عِنْدَمَا يُوَضِّحُ الضَّوْءُ الشَّكْلَ الْمُتَدَاخِلَ لِيَكْشِفَ عَنِ الصُّورَةِ الْأَصْلِيَّةِ الَّتِي حَمَلَتْهَا الْمَوْجَةُ الْجِسْمِيَّةُ .

عَمَلُ هُولُوجرَام

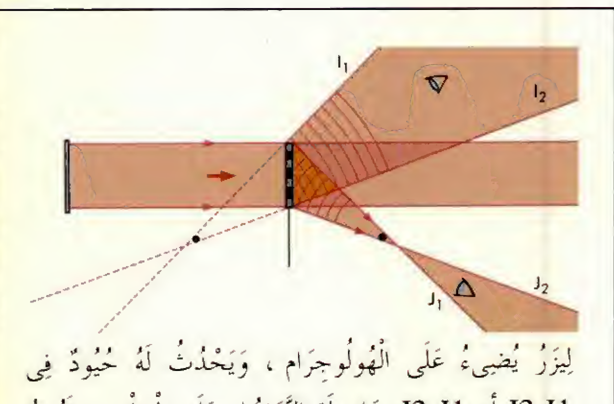
مِرْآةٌ نِصْفُ شَفَّافَةٍ تُقَسِّمُ ضَوْءَ لِيزَر إِلَى شُعَاعَيْنِ (أسفل يمين) وَعِنْدَ تَقَابُلِهِمَا ، يُخَزِّنُ الشُّعَاعَانِ الْمَعْلُومَاتِ عَلَى فِيلْمٍ ، فِي صُورَةِ شَكْلٍ مُتَدَاخِلٍ .



شَكْلٌ مُتَدَاخِلٌ يَتَكَوَّنُ عِنْدَمَا تَتَقَابَلُ الْمَوْجَاتُ الْجِسْمِيَّةُ D2-D1 مَعَ الْمَوْجَاتِ الْمَرْجِعِيَّةِ R2-R1 عِنْدَ زَوَايَا مُخْتَلِفَةٍ . وَالْمِسَاحَاتُ الَّتِي يُكَوِّنُ فِيهَا التَّدَاخُلُ بِنَاءً أَوْ مُقَوًّى تَبَادُلِيًّا ، تَظْهَرُ سَوْدَاءَ عَلَى الرَّسْمِ .

اسْتِخْرَاجُ الصُّورَةِ

عِنْدَمَا يَسْقُطُ عَلَى الْهُولُوجِرام ضَوْءُ لِيزَر لَهُ نَفْسُ الطُّولِ الْمَوْجِيِّ لِلْمَوْجَةِ الْجِسْمِيَّةِ وَالْمَرجِعِيةِ ، يَحْدُثُ لَهُ حُيُودٌ كَمَا لَوْ كَانَ يَصْطَدِمُ بِالْجِسْمِ نَفْسِهِ . وَفِى بَعْضِ الْحَالَاتِ ، يُمْكِنُ رُؤْيَةُ الصُّوَرِ مِن الْهُولُوجِرَام فِى الضَّوْءِ الْعَادِيِّ وَفِى ضَوْءِ اللِّيزَرِ أَيْضًا .



لِيزَرُ يُضِيءُ عَلَى الْهُولُوجِرَام ، وَيَحْدُثُ لَهُ حُيُودٌ فِى I2,I1 أو J2,J1 بِوَاسِطَةِ التَّدَاخُلِ عَلَى الْفِيلْمِ ، فَيُعِيدُ إِظْهَارَ الصُّورَةِ ثُلَاثِيَّةِ الْأَبْعَادِ .

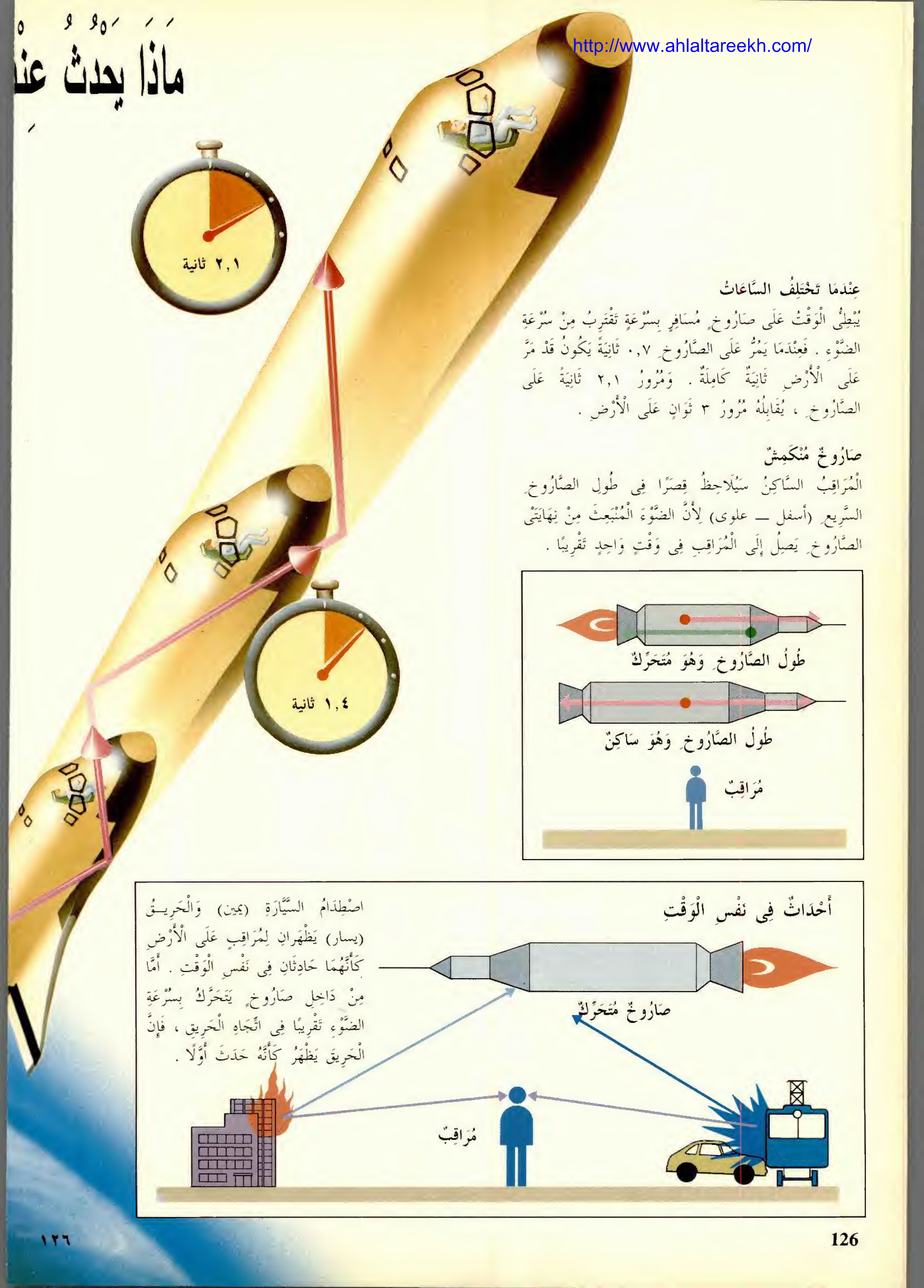


صُورَةٌ فِى أُسْطُوَانَةٍ



صُورَةٌ بِالضَّوْءِ الْعَادِيِّ

ماذا يحدث عن



عِنْدَمَا تَخْتَلِفُ السَّاعَاتُ

يُبْطِئُ الْوَقْتُ عَلَى صَارُوخٍ مُسَافِرٍ بِسُرْعَةٍ تَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوْءِ . فَعِنْدَمَا يَمُرُّ عَلَى الصَّارُوخِ ٠,٧ ثَانِيَةً يَكُونُ قَدْ مَرَّ عَلَى الْأَرْضِ ثَانِيَةٌ كَامِلَةٌ . وَمُرُورُ ٢,١ ثَانِيَةً عَلَى الصَّارُوخِ ، يُقَابِلُهُ مُرُورُ ٣ ثَوَانٍ عَلَى الْأَرْضِ .

صَارُوخٌ مُنْكَمِشٌ

الْمُرَاقِبُ السَّاكِنُ سَيُلَاحِظُ قِصَرًا فِى طُولِ الصَّارُوخِ السَّرِيعِ (أسفل ــ علوى) لِأَنَّ الضَّوْءَ الْمُنْبَعِثَ مِنْ نِهَايَتَيْ الصَّارُوخِ يَصِلُ إِلَى الْمُرَاقِبِ فِى وَقْتٍ وَاحِدٍ تَقْرِيبًا .

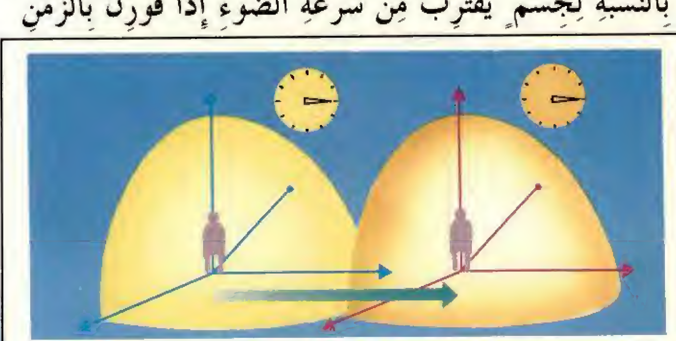
أَحْدَاثٌ فِى نَفْسِ الْوَقْتِ

اصْطِدَامُ السَّيَّارَةِ (يمين) وَالْحَرِيقُ (يسار) يَظْهَرَانِ لِمُرَاقِبٍ عَلَى الْأَرْضِ كَأَنَّهُمَا حَادِثَانِ فِى نَفْسِ الْوَقْتِ . أَمَّا مِنْ دَاخِلِ صَارُوخٍ يَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةِ الضَّوْءِ تَقْرِيبًا فِى اتِّجَاهِ الْحَرِيقِ ، فَإِنَّ الْحَرِيقَ يَظْهَرُ كَأَنَّهُ حَدَثَ أَوَّلًا .

الاقْتِرابُ مِنْ سرعَةِ الضَّوء ؟

فِى عَامِ ١٨٨٧ أَجْرَى الْعَالِمَانِ الْأَمْرِيكِيَّانِ أَلْبرتْ مِيكْلُسُون وَإِدْوَارْد مُورْلِى تَجْرِبَةً أَثْبَتَتْ أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوْءِ ثَابِتَةٌ لِأَىِّ مُشَاهِدٍ . وَاعْتِمَادًا عَلَى هَذِهِ التَّجْرِبَةِ ، فَقَدْ وَضَّحَ أَلْبِرْت أَيْنِشْتَينْ فِى نَظَرِيَّتِهِ النِّسْبِيَّةِ بَعْدَ حَوَالَى عِشْرِينَ عَامًا ، أَنَّهُ لَا يُوجَدُ شَيْءٌ سِوَى الضَّوْءِ فَقَطْ هُوَ الَّذِى يُمْكِنُهُ الانْتِقَالُ بِسُرْعَةِ الضَّوْءِ وَهِىَ ١٨٦٢٨٢ ميل/ثانية . وَلَكِنْ قَدْ تَحْدُثُ أَشْيَاءُ غَرِيبَةٌ لِلأَجْسَامِ الَّتِى تَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ تَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوْءِ . فَالزَّمَنُ قَدْ يُبْطِئُ بِالنِّسْبَةِ لِجِسْمٍ يَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوْءِ إِذَا قُورِنَ بِالزَّمَنِ الَّذِى يَحْسِبُهُ مُرَاقِبٌ عَلَى الْأَرْضِ . كَمَا أَنَّ طُولَ الْجِسْمِ قَدْ يَقِلُّ ، وَكُتْلَتَهُ تَزِيدُ . وَلَوْلَا تَجْدِيدُ سُرْعَةِ الضَّوْءِ فِى جَمِيعِ الْإِطَارَاتِ الْمَرْجِعِيَّةِ وَفْقًا لِلنَّظَرِيَّةِ النِّسْبِيَّةِ ، فَإِنَّ صَارُوخًا يَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةِ الضَّوْءِ سَيَكُونُ طُولُهُ صِفْرًا وَكُتْلَتُهُ لَا نِهَائِيَّةً ، وَكِلَاهُمَا نَتائِجُ مُسْتَحِيلَةٌ .

وَنظَرِيَّةُ أَيْنِشْتَين لَهَا نَتَائِجُ هَامَّةٌ بِالنِّسْبَةِ لِرِحْلَاتِ الْفَضَاءِ فِى الْمُسْتَقْبَلِ . فَبِدَاخِلِ سَفِينَةِ فَضَاءٍ تَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ تَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوْءِ ، يَبْدُو كُلُّ شَيْءٍ عَادِيًّا . وَلَكِنْ بِالنِّسْبَةِ لِلْمُرَاقِبِ عَلَى الْأَرْضِ سَتَظْهَرُ السَّفِينَةُ أَقْصَرَ وَتَكُونُ سُرْعَتُهَا أَبْطَأَ . فَرُوَّادُ الْفَضَاءِ الَّذِينَ وَفْقًا لِحِسَابِهِم الزَّمَن ، قَدْ تَجَوَّلُوا فِى الْفَضَاءِ عَشْرَ سَنَوَاتٍ ، قَدْ يَعُودُون إِلَى الْأَرْضِ لِيَجِدُوا أَنَّ قَرْنًا مِن الزَّمَانِ قَدْ مَرَّ عَلَى الْأَرْضِ .



سُرْعَةُ الضَّوْءِ ثَابِتَةٌ سَوَاءٌ أَكَانَ الْمُرَاقِبُ وَاقِفًا (يمين) أَوْ مُتَحَرِّكًا (يسار). فَالضَّوْءُ يَنْتَشِرُ دَائِمًا بِانْتِظَامٍ مِنْ مَصْدَرِهِ .

٠,٧ ثانية

١ ثانية

٢ ثانية

٣ ثانية

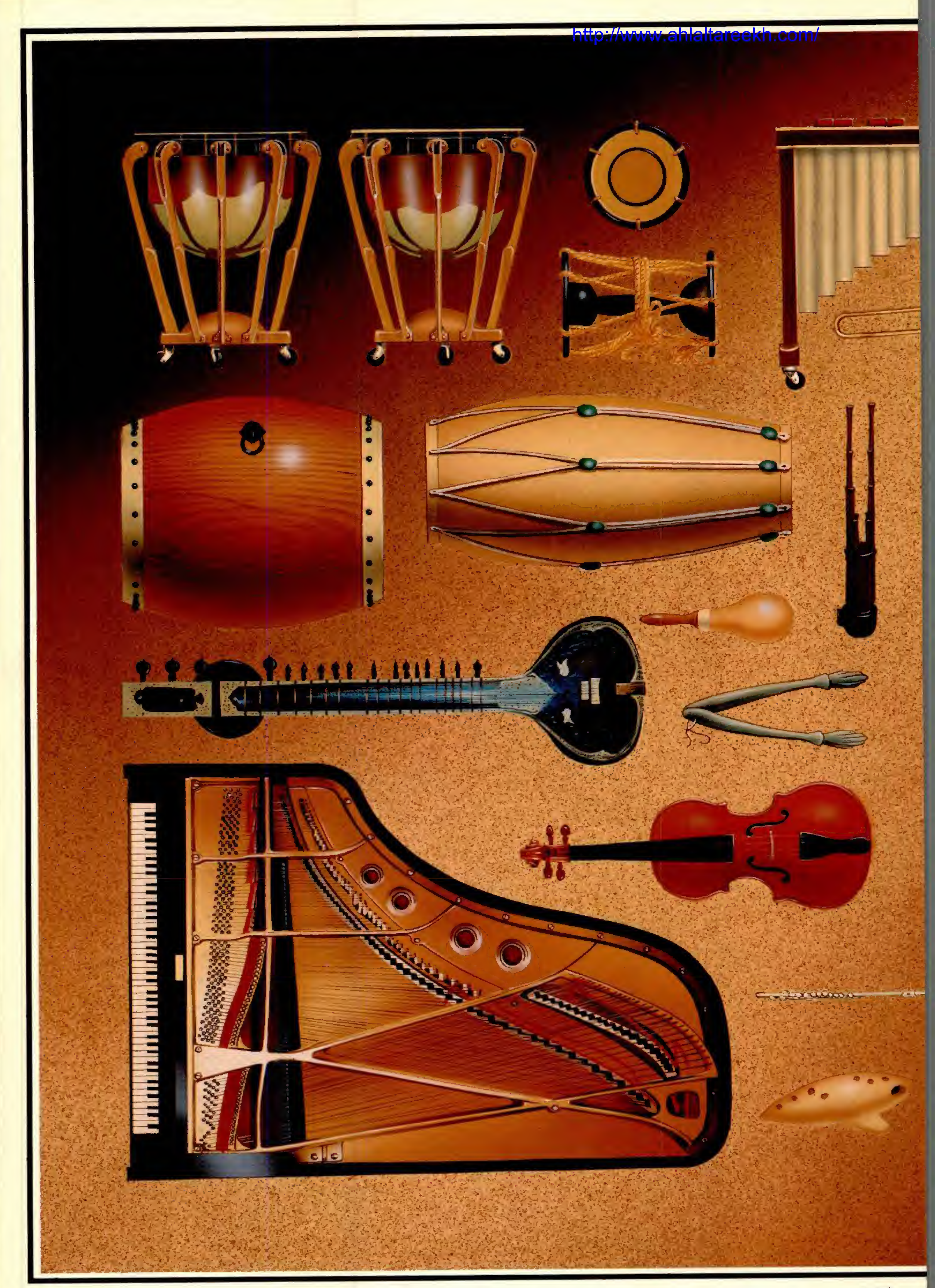
8 فِيزْيَاءُ الصَّوْتِ



تَعُجُّ الدُّنْيَا بِالْأَصْوَاتِ ، مِنْ هَزِيمِ الرَّعْدِ الْمَسْمُوعِ إِلَى الصَّرَخَاتِ الْحَادَّةِ . وَظَاهِرَةُ الصَّوْتِ تُعْطِى النَّاسَ مَفَاتِيحَ ثَمِينَةً عَنْ بِيئَتِهِمْ سَوَاءٌ أَكَانَ الصَّوْتُ مُنْخَفِضًا أَوْ عَالِيًا ، هَادِئًا أَوْ صَاخِبًا . وَيَحْدُثُ الصَّوْتُ بِسَبَبِ الْمَوْجَاتِ النَّاتِجَةِ عَنِ الاهْتِزَازَاتِ الْمُتَتَالِيَةِ لِجِسْمٍ ، مِثْلَ الضَّرْبِ عَلَى طَبْلَةٍ . وَتَنْتَقِلُ هَذِهِ الْمَوْجَاتُ فِى الْهَوَاءِ وَالْغَازَاتِ الْأُخْرَى والسَّوَائِلِ وَالْجَوامِدِ . وَعِنْدَمَا تَصِلُ إِلَى أُذُنِ شَخْصٍ ، فَإِنَّهُ يَتِمُّ إِدْرَاكُهَا طِبْقًا لِمُواصَفَاتِهَا .

وَمِنْ مُوَاصَفَاتِه الْمُمَيِّزَةِ ، التَّرَدُّدُ ، وَهُوَ مُعَدَّلُ مُرُورِ الْقِمَمِ وَالْقِيعَانِ الْمُتَتَالِيَةِ لِمَجْمُوعَةِ مَوْجَاتٍ بِنُقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ فِى الْفَرَاغِ ، وَيُعَبَّرُ عَنِ التَّرَدُّدِ بِالْهِرْتِزْ ، وَهُوَ يُمَثِّلُ عَدَدَ الدَّوْرَاتِ أَوِ الذَّبْذَبَاتِ الْمَوْجِيَّةِ فِى الثَّانِيَةِ . وَتَسْتَطِيعُ الْأُذُنُ الْبَشَرِيَّةُ أَنْ تَسْمَعَ الْأَصْوَاتَ فِى مَدَى التَّرَدُّدِ مِنْ ٢٠ إلى ٢٠٠٠٠ هِرْتِزْ . وَتَرَدُّدُ الْمَوْجَةِ يَنْتَسِبُ إِلَى دَرَجَةِ الصَّوْتِ ، وَالْمَوْجَاتُ ذَاتُ التَّرَدُّدِ الْعَالِى تُحْدِثُ أَصْوَاتًا عَالِيَةَ الطَّبَقَةِ ، وَذَاتُ التَّرَدُّدِ الْمُنْخَفِضِ تُحْدِثُ أَصْوَاتًا مُنْخَفِضَةَ الطَّبَقَةِ . وَشِدَّةُ الصَّوْتِ تَتَوَقَّفُ عَلَى كَمِّيَّةِ الطَّاقَةِ فِى حَجْمٍ مُعَيَّنٍ مِنَ الْفَضَاءِ الَّذِى يَنْتَقِلُ فِيهِ الصَّوْتُ ، وَيَقِيسُهَا الْعُلَمَاءُ بِوَحْدَةٍ تُسَمَّى الدِّيسِيبْل . وَالْمُحَادَثَاتُ الْعَادِيَّةُ تُسَجِّلُ ٦٠ دِيسِيبْل ، وَالْمُحَرِّكُ النَّفَّاثُ مِن ١٤٠ إلى ١٦٠ . وَالْأَصْوَاتُ الَّتِى تَزِيدُ شدتها عَلَى ١٢٠ ديسِيبْل قَدْ تُتْلِفُ طَبْلَةَ الْأُذُنِ ، بَلْ قَدْ تُفْقِدُ السَّمْعَ نِهَائِيًّا .

كُلُّ آلَةٍ مِنْ هَذِهِ الْآلَاتِ لَهَا جَرْسٌ مُمَيِّزٌ ، أَوْ نَوْعُ صَوْتٍ مُعَيَّنٍ . فَبالطَّرْقِ عَلَى السَّطْحِ ، أَوِ النَّفْخِ فِى مَبْسَمٍ ، أَوْ جَذْبِ الْأَوْتَارِ ، يَصْنَعُ الْمُوسِيقِيُّونَ الْمُوسِيقَى ، بِإِنْتَاجِ مَوْجَاتٍ صَوْتِيَّةٍ مُخْتَلِفَةِ الطَّبَقَةِ .

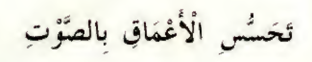


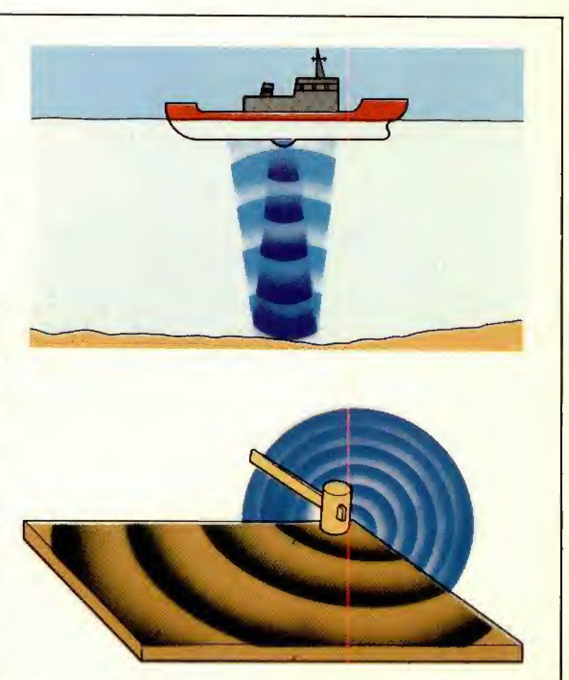
كَيْفَ يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ ؟

يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ بِالْمَوْجَاتِ . وَتَنْتَقِلُ هَـذِهِ الْمَوْجَاتُ خِلَالَ الْغَازَاتِ وَالسَّوَائِلِ وَالْجَوامِدِ أَيْضًا . وَالْحَرَكَةُ الْموجِيَّةُ هِىَ بِصِفَةٍ رَئِيسِيَّةٍ نَقْلٌ لِلطَّاقَةِ . وَفِى حَالَةِ الصَّوْتِ ، يَكُونُ هَذَا النَّقْلُ عَلَى هَيْئَةِ حَرَكَاتٍ دَقِيقَةٍ عَلَى الْمُسْتَوَى الْجُزَيْئِى . وَفِى كُلٍّ مِن الْغَازَاتِ وَالسَّوَائِلِ وَالْجَوامِدِ ، تُرَحِّلُ الْمَوْجَةُ الصَّوْتِيَّةُ الْجُزَيْئَاتِ قَلِيلًا فِى اتِّجَاهٍ مُوَازٍ لِنَفْسِهَا ، أَىْ فِى اتِّجَاهٍ طُولِىٍّ . وَفِى الْجَوَامِدِ ، قَدْ تَحْدُثُ الْحَرَكَةُ أَيْضًا فِى اتِّجَاهٍ عَمُودِىٍّ عَلَى الْمَوْجَةِ .

وَتَنْتَشِرُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ مِنْ مَصْدَرِهَا فِى جَمِيعِ الاتِّجَاهَاتِ (يسار) مِثْلِ طَرْقِ مِطْرَقَةِ الْجَرَسِ عَلَى نَاقُوسِهِ . وَهَذَا الارْتِجَاجُ الميكَانِيكِىُّ الْمُفَاجِئُ ، جَعَلَ النَّاقُوسَ يَهْتَزُّ . وَطَاقَةُ الْاهْتِزَازِ تُحَرِّكُ جُزَيْئَاتِ الْهَوَاءِ الْمُحِيطَةِ ، وَتَدْفَعُهَا بَعِيدًا عَنِ الْجَرَسِ . وَهَذَا التَّمَدُّدُ الْبَسِيطُ لِلْهَوَاءِ الْمُحِيطِ بِالْجَرَسِ يُسَبِّبُ زِيَادَةً فِى الضَّغْطِ ، يَبْدَأُ انْتِشَارُهُ لِلخَارِجِ بَدْءًا مِن الْمَصْدَرِ .

وَلَا تَتَوَقَّفُ سُرْعَةُ الصَّوْتِ عَلَى جَهَارَةِ الصَّوْتِ . فَالْأَصْوَاتُ الْمُنْبَعِثَةُ مِنْ مِذْيَاعٍ فِى حُجْرَةٍ ، كُلُّهَا تَصِلُ إِلَى الْمُسْتَمِعِ فِى وَقْتٍ وَاحِدٍ ، سَوَاءٌ أَكَانَتْ مُرْتَفِعَةً أَوْ خَفِيفَةً ، ذَاتَ تَرَدُّدٍ عَالٍ أَوْ مُنْخَفِضٍ .


تَحَسُّسِ الْأَعْمَاقِ بِالصَّوْتِ

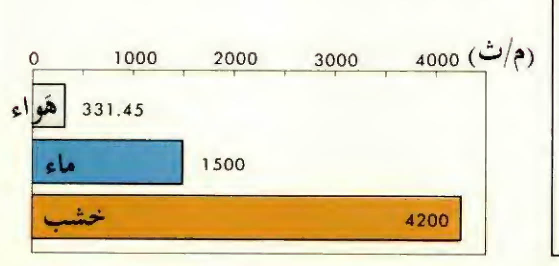


أَشِعَّةُ السُّونَارِ ، الْمُكَوَّنَةُ مِنْ مَوْجَاتٍ صَوْتِيَّةٍ تَمُرُّ بِسُهُولَةٍ خِلَالَ أَمْوَاجِ الْمُحِيطِ . وَيَسْتَنِدُ السُّونَارُ إِلَى حَقِيقَةِ انْعِكَاسِ الصَّوْتِ عَلَى قَاعِ الْمُحِيطِ ، وَيُسْتَخْدَمُ لِتَحَسُّسِ تَضَارِيسِ قَاعِ الْمُحِيطِ ، أَو تَحَسُّسِ أَجْسَامٍ تَحْتَ الماءِ .

جَوامِدُ مَرِنَةٌ

يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ خِلَالَ لَوْحٍ مِن الْخَشَبِ . وَتَتَّصِلُ جُزَيْئَاتُ مُعْظَمِ الْجَوامِدِ فِى نِظَامٍ شَبَكِىٍّ مَتِينٍ لَا يَسْهُلُ ضَغْطُهُ ، وَلَكِنَّهُ يُسَهِّلُ مُرُورَ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ .

تَخْتَلِفُ سُرْعَةُ انْتِقَالِ الصَّوْتِ طِبْقًا لِنَوْعِ الْوَسَطِ الَّذِى يَمُرُّ خِلَالَهُ وَدَرَجَةِ حَرَارَةِ الْوَسَطِ . وَتَنْتَقِلُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ بِبُطْءٍ خِلَالَ الْغَازَاتِ لِأَنَّهُ يَسْهُلُ ضَغْطُ تَرْكِيبِهَا الْجُزَيْئِى . وَتَزْدَادُ سُرْعَتُهُ فِى السَّوَائِلِ ، وَيُصْبِحُ أَسْرَعَ فِى الْجَوامِدِ ، كَمَا يَظْهَرُ فِى الْجَدْوَلِ التَّالِى بِالْمِتْر/ثانية .

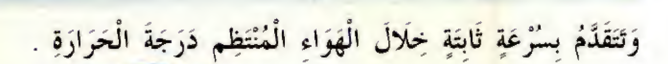




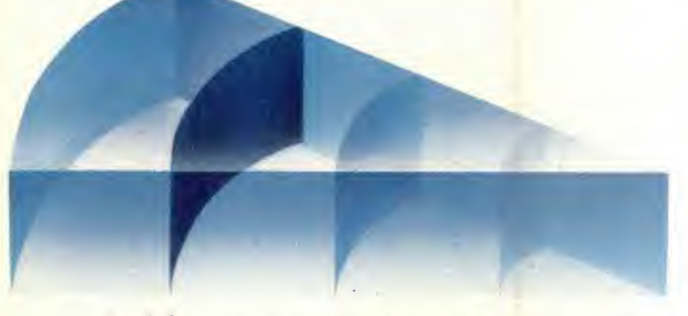
دَقُّ الْجَرَسِ



صَدْرُ مَوْجَةٍ صَوْتِيَّةٍ تَتحَرَّكُ لِلْخارِجِ مِن جَرَسٍ مُهْتَزٍّ .



وَتَتَقَدَّمُ بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ خِلاَلَ الْهَوَاءِ الْمُنْتَظِم دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ .



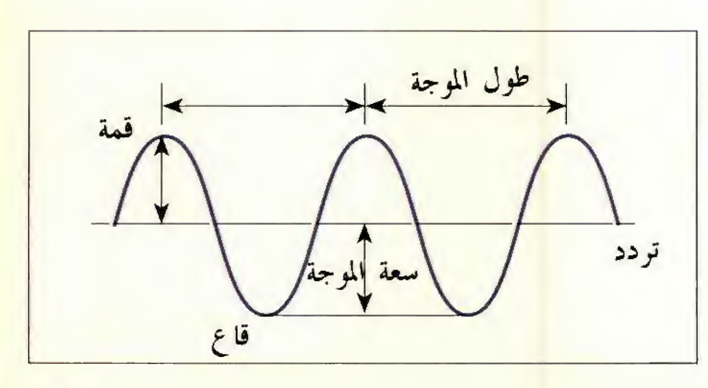
وَيَتْبَعُهَا صَدْرُ مَوْجَةٍ ثَانِيةٍ عَلَى بُعْدٍ مُعَيَّنٍ هُوَ الطُّولُ الْمَوْجِىّ .



تَكُونُ الْمَوْجَاتُ أَقْوَى بِالْقُرْبِ مِن الْمَصْدَرِ .

مَسَارُ الْمَوْجَةِ

تَنْتَشِرُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ فِى الْهَوَاءِ (يمين)، فَتَتَقَدَّمُ صُدُورُ الْموجَاتِ إلَى الْخارِجِ عَلَى مَسَافَاتٍ مُعَيَّنَةٍ تَتَوَقَّفُ عَلى تردُّدِ الْجَرَسِ . وَيَتَحَدَّدُ تَرَدُّدُ مَوْجَةِ الصَوْتِ بِعَدَدِ صُدُورِ الْمَوْجَاتِ الَّتِى تَمُرُّ بِنُقْطَةٍ مُعَيَّنةٍ فِى زَمَنٍ مُعَيَّنٍ .



رَسْمُ مَوْجَةٍ غَيْرِ مَرْئِيَّةٍ .

تُمَثِّلُ مَوْجَةُ صَوْتٍ بَسِيطَةٌ بَيَانِيًّا بِخَطٍّ مُتَمَوِّجٍ (يسار). وَالْقِمَمُ تُمَثِّلُ تَضَاغُطًا جُزْئِيًّا ، وَالْقِيعَانُ تَمَدُّدًا مَرِنًا يَحْدُثُ بَعْدَ مُرُورِ صَدْرِ الْمَوْجَةِ . وَبِازْدِيَادِ تَعْقِيدِ الصَّوْتِ يَزْدَادُ عَدَدُ الْقِمَمِ وَالْقِيعَانِ التى تُصَوِّرُ شَكْلَ الْمَوْجَةِ . والأَصْوَاتُ الْمُرْتَفِعَةُ ذَاتُ الطَّاقَةِ الْكَبِيرةِ تَكُونُ موجاتها ذَاتَ ارْتِفَاعٍ كَبِيرٍ أَوْ سِعَةِ ذَبْذَبَةٍ كَبِيرَةٍ .



كَيْفَ يَحْدُثُ الصَّدَى ؟

يَحْدُثُ الصَّدَى عِنْدَمَا تَصْطَدِمُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ الْمُتَحَرِّكَةُ مِنْ مَصْدَرٍ ــ وَتُسَمَّى مَوْجَاتٍ سَاقِطَةً ــ بِحَاجِزٍ جَامِدٍ مِثْل جَبَلٍ . فَتَنْعَكِسُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ أَوْ تَرْتَدُّ عَنْ مِثْلِ هَذِهِ الْحَوَاجِزِ بِزَاوِيَةٍ مُسَاوِيَةٍ لِزَاوِيَةِ السُّقُوطِ .

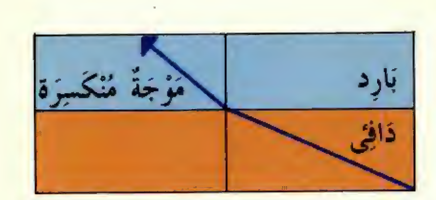
وَأَهَمُّ عَامِلٍ لِحُدُوثِ الصَّدَى هُوَ الْمَسَافَةُ بَيْنَ مَصْدَرِ الصَّوْتِ وَالْحَاجِزِ . فَإِذَا كَانَ الْحَاجِزُ قَرِيبًا ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الْمُنْعَكِسَةَ تَعُودُ بِسُرْعَةٍ كَافِيَةٍ لاتسمح باختلاطها مَعَ الْمَوْجَاتِ الْأَصْلِيَّةِ ، فَلَا يَحْدُثُ الصَّدَى . وَإِذَا كَانَ الْحَاجِزُ عَلَى بُعْدِ ٥٠ قَدَمًا عَلَى الْأَقَلِّ ، فَلَنْ تَعُودَ الْمَوْجَاتُ الْمُنْعَكِسَةُ إِلَّا بَعْدَ تَوَقُّفِ الْمَوْجَاتِ السَّاقِطَةِ . وَسَيَسْمَعُ الْمُسْتَمِعُونَ الصَّوْتَ مُكَرَّرًا ، كَمَا لَوْ كَانَ صَادِرًا مِنَ الْحَاجِزِ . وَيَجِبُ أَنْ يَضَعَ مُهَنْدِسُو الصَّوْتِ فِي الْاعْتِبَارِ حُدُوثَ الصَّدَى ، عِنْدَ تَصْمِيمِهِمْ لِقَاعَاتِ الْمُحَاضَرَاتِ وَالْمُوسِيقَى ، وَذَلِكَ بِإِضَافَةِ مَوَادَّ مَاصَّةٍ لِلْأَصْوَاتِ وَتَنْفِيذِ تَصْمِيمَاتٍ تُقَلِّلُ انْعِكَاسَاتِ الصَّوْتِ .

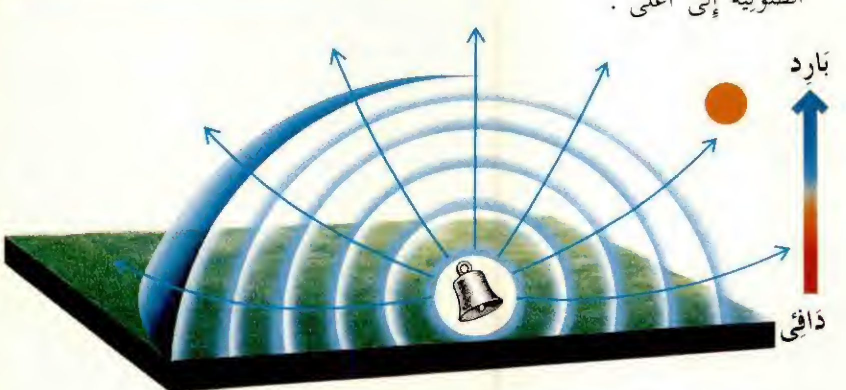
فِي هَذِهِ التَّجْرِبَةِ ، تَمُرُّ مَوْجَاتٌ مُنْخَفِضَةُ التَّرَدُّدِ مِنْ مُذَبْذِبٍ خِلَالَ أُنْبُوبٍ زُجَاجِيٍّ (أ)، ثُمَّ تَنْعَكِسُ عَلَى مِرْآةٍ ، فَتَدْخُلُ فِي أُنْبُوبِ (ب). وَتُثْبِتُ التَّجْرِبَةُ أَنَّ زَاوِيَةَ الْانعِكَاسِ = زَاوِيَةَ السُّقُوطِ .

سَدَادٌ من مادة رغوية
مِجْهَارٌ صَغِيرٌ
أُنْبُوبٌ زُجَاجِيّ أ
مُذَبْذِب
أُنْبُوبٌ زُجَاجِيّ ب
مرآة

سَرِيعٌ فِى النَّهار

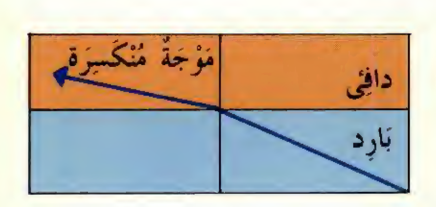
يُسْرِعُ الصَّوْتُ فِى الْهَوَاءِ الدَّافِئِ قَرِيبًا مِن الْأَرْضِ (أسفل) وَلَكِنَّهُ يُبْطِئُ عِنْدَمَا يَصِلُ إِلَى الطَّبَقَاتِ الْعُلْيَا البَارِدَةِ . وَيَتَسَبَّبُ هَذَا فِى انْكِسَارِ الْمَوْجَةِ الصَّوْتِية إِلَى أَعْلَى .

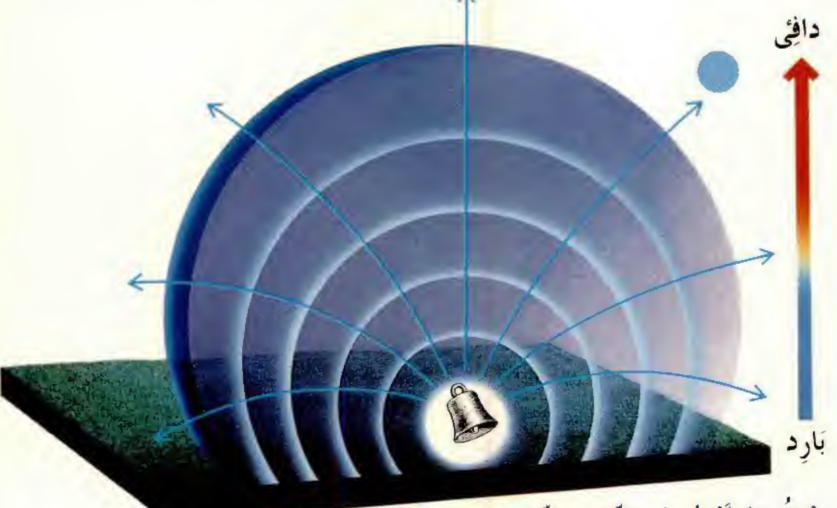




بَطِيءٌ فِى اللَّيْل

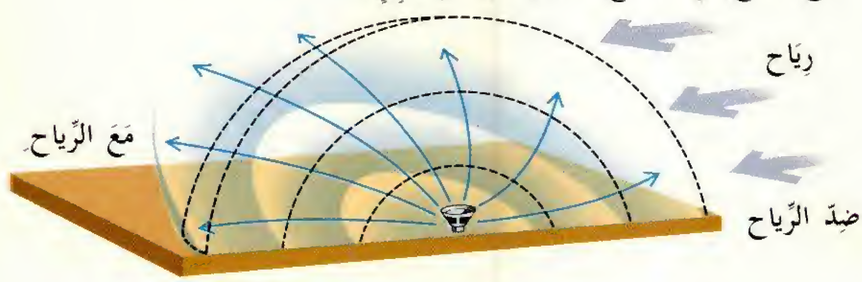
دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الْبَارِدَةِ لَيْلًا عَلَى الْأَرْضِ تُبْطِئُ مَسَارَ الصَّوْتِ (أسفل) . بَيْنَمَا تَعْمَلُ الطَّبَقَاتُ الْعُلْيَا الْأَدْفَأُ عَلَى إِسْرَاعِ الصَّوْتِ .





يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ فِى اتِّجَاهِ الرِّيَاحِ

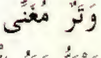
يَتَحَرَّكُ الصَّوْتُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ بَعِيدًا عَنْ سَطْحِ الْأَرْضِ ، عَنْهُ بِالْقُرْبِ مِنْ سَطْحِ الْأَرْضِ . وَعِنْدَمَا تَنْتَشِرُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ مِن الْأَرْضِ ، فَإِنَّهَا تَنْتَقِلُ فِى اتِّجَاهِ الرِّيَاحِ . وَالْمُسْتَمِعُ فِى مَكَانٍ ضِدَّ الرِّيَاحِ يَسْمَعُ صَوْتًا خَافِتًا . أَمَّا الْمُسْتَمِعُ فِى مَكَانٍ مَعَ الرِّيَاحِ فَإِنَّهُ يَسْمَعُ الْجَرَسَ عَلَى بُعْدٍ كَبِيرٍ .





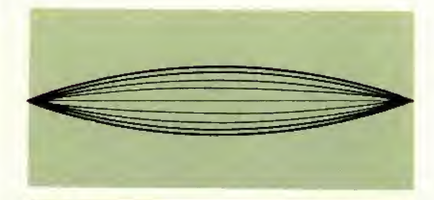
كَيْفَ تُحْدِثُ النَّغَمَاتُ ؟

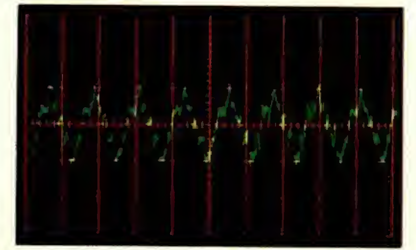
يُخْرِجُ الْمُوسِيقِيُّونَ مِنَ الْآلَاتِ نَغَمَاتٍ أَوْ نُوَتًا مُوسِيقِيَّةً مُتَنَوِّعَةَ الطبقة ، بِالتَّحَكُّمِ فِي مَصْدَرِ الْاهْتِزَازَاتِ الصَّوْتِيَّةِ . وَعِنْدَمَا يُمَرِّرُ عَازِفُ الْكَمَانِ قَوْسَهُ عَلَى الْوَتَرِ ، يَهْتَزُّ الْوَتَرُ أَوْ يَتَذَبْذَبُ . وَتَنْتَقِلُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ أَعْلَى وَأَسْفَلِ الْوَتَرِ ، مُكَوِّنَةً أَشْكَالًا تُسَمَّى مَوْجَاتٍ مُسْتَقِرَّةً . وَبِالْمِثْلِ ، عِنْدَمَا يَنْفُخُ عَازِفُ الْفُلُوتِ الْهَوَاءَ فِي الْمَبْسَمِ ، تَتَكَوَّنُ الْمَوْجَاتُ الْمُسْتَقِرَّةُ فِي الْهَوَاءِ دَاخِلَ الْفُلُوتِ . وَكُلُّ مَوْجَةٍ تُحْدِثُ نَغَمَةً مُخْتَلِفَةً . وَأَخْفَضُ نَغَمَةٍ يُنْتِجُهَا وَتَرٌ أَوْ عَمُودٌ هَوَائِيٌّ تُسَمَّى النَّغَمَةَ الْأَسَاسِيَّةَ . وَفِي كُلِّ مَرَّةٍ تَصْدُرُ هَذِهِ النَّغَمَةُ ، تُصَاحِبُهَا نَغَمَاتٌ تَوَافُقِيَّةٌ ذَاتُ دَرَجَةٍ أَعْلَى ، وَذَلِكَ عِنْدَمَا تَتَكَسَّرُ النَّغَمَةُ الْأَسَاسِيَّةُ إِلَى قِطَاعَاتٍ . وَالصَّوْتُ الْمُمَيِّزُ أَوْ جَرْسُ أَيِّ آلَةٍ ، سَبَبُهُ الضَّعْفُ أَو الْقُوَّةُ النِّسْبِيَّةُ لِلنَّغَمَاتِ التَّوَافُقِيَّةِ .



وَتَرٌ مُغَنٍّ

يَهْتَزُّ وَتَرُ الْكَمَانِ عِنْدَ التَّرَدُّدِ الْأَسَاسِيِّ . وَيُمْكِنُ رَسْمُ الصَّوْتِ عَلَى رَاسِمِ ذَبْذَبَاتٍ فِي شَكْلِ مَوْجَةٍ مُعَقَّدَةٍ (أسفل)، وَهِيَ نَمَطِيَّةٌ لِلآلَاتِ الْوَتَرِيَّةِ .





مَلِكُ الْآلَاتِ الْوَتَرِيَّةِ

يَرْجِعُ صَوْتُ الْكَمَانِ الرَّقِيقِ الْمُمَيَّزِ بِصِفَةٍ جَوْهَرِيَّةٍ إِلَى جِسْمِهَا الْخَشَبِيِّ . وَتَهْتَزُّ الْأَوْتَارُ ، بِإِمْرَارِ الْقَوْسِ عَلَيْهَا أَوْ جَذْبِهَا ، فَتَهْتَزُّ بِنَفْسِ التَّرَدُّدِ الْأَجْزَاءُ الْخَشَبِيَّةُ مِنَ الْآلَةِ . وَهَذَا يُكَبِّرُ الصَّوْتَ فَيُصْبِحُ مَسْمُوعًا بِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ .

كَمَان وَفُلُوتٌ

آلَةُ نفخٍ رَخيمَةِ الصَّوْتِ

مَوْجَاتُ الْهَواءِ الْمُتَرَدِّدَةُ تَتَذَبْذَبُ فِي الْفُلُوتِ . وَتُكَوِّنُ هَـذِهِ الْمَوْجَاتُ أَشْكَالًا مُمَاثِلَةً لِأَشْكَالِ وَتَرٍ مُهْتَزٍّ .

تَرْكِيبُ الْمَوْجَاتِ

إِشَارَاتُ رَاسِمِ الذَّبْذَبَاتِ تُوَضِّحُ اخْتِلَافَ شِدَّةِ وَدَرَجَةِ الصَّوْتِ . وَتُقَاسُ الْأَصْوَاتُ الْمُرْتَفِعَةُ وَالْهَادِئَةُ (يسار) بِالدِّيسِيبِلْ . وَيَتَعَرَّفُ النَّاسُ عَادَةً عَلَى الْمَوْجَاتِ بَيْنَ ١، ١٢٠ دِيسِيبِلْ . وَدَرَجَاتُ الصَّوْتِ الْعَالِيَةِ وَالْمُنْخَفِضَةُ (تحتها) تُنْسَبُ إِلَى التَّرَدُّدِ ، وَهُوَ مُعَدَّلُ مُرُورِ الْقِمَمِ وَالْقِيعَانِ لِمَوْجَةٍ بِنُقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ .

أَصْوَاتٌ مُرْتَفِعَةٌ وَخَفِيضَةٌ

جهازُ الْمَوْجَةِ

يَرْسُمُ رَاسِمُ الذَّبْذَبَاتِ أَشْكَالَ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ . فَالْأَصْوَاتُ عَالِيَةُ الدَّرَجَةِ يَكُونُ طُولُهَا الْمَوْجِيُّ قَصِيرًا ، وَالْمُنْخَفِضَةُ الدَّرَجَةِ ذَاتُ طُولٍ مَوْجِيٍّ طَوِيلٍ .

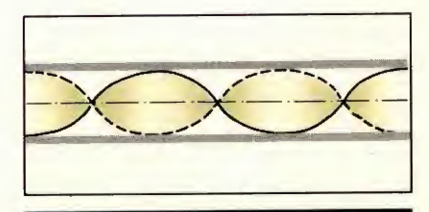
دَرَجَاتٌ عَالِيَةٌ وَمُنْخَفِضَةٌ

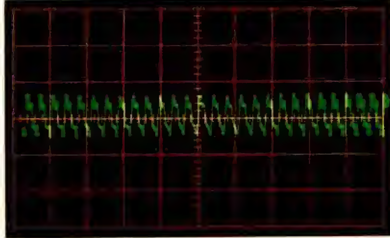


يُمْكِنُ رُؤْيَةُ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ عَلَى شَاشَةِ رَاسِمِ ذَبْذَبَـــــاتٍ (أو سيلوسكوب) .

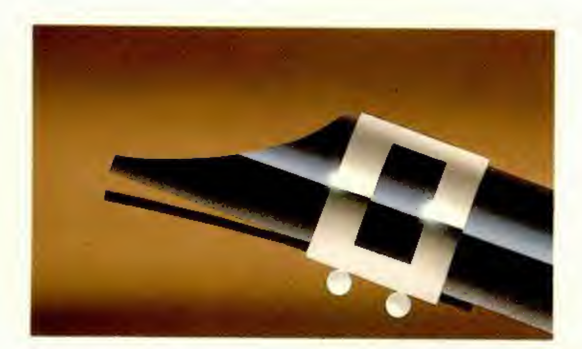
صَوْتُ التَّنَفُّسِ

تَظْهَرُ النَّغَمَاتُ التَّوَافُقِيَّةُ كَأَقْسَامٍ فِي مَوْجَةٍ موقوفة فِي عَمُودِ الْهَوَاءِ أَسْفَل . وَتَحْتَهَا يَظْهَرُ شَكْـلُ الْمَوْجَةِ الْبَسِيطَةِ الْمُمَيِّزَةِ لِهَـذَا الصَّوْتِ . وَآلَاتُ النَّفْخِ لَهَا صَوْتٌ مُبَاشِرٌ نَاعِمٌ .





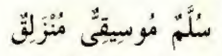
كَيْفَ تَعْمَلُ آلاتُ النَّفْخِ الْمُوسِيقِيَّةُ ؟



لِسَانٌ مِزْمَارٍ رَفِيعٍ فِي مَبْسَمِ كِلَارِينْت (أعلى) يَهْتَزُّ عِنْدَمَا يَنْفُخُ الْعَازِفُ فِيهِ . وَتَنْتَقِلُ الاهْتِزَازَاتُ إِلَى أَسْفَلِ الْأُنْبُوبِ كَمُوجَاتِ تَضَاغُطٍ .

لِإِحْدَاثِ نَغَمَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ بِآلَةِ نَفْخٍ مُوسِيقِيَّةٍ ، مِثْلِ الْكِلارِينِتْ (يسار)، يَنْفُخُ الْعَازِفُ فِي الْمَبْسَمِ وَهُوَ يَضْغَطُ عَلَى الْمَفَاتِحِ الشَّبِيهَةِ بِالرَّوَافِعِ لِتَكْشِفَ الْفُتْحَاتِ عَلَى طُولِ جِسْمِ الْآلَةِ . وَهَذَا يُسَبِّبُ تَبَدُّلَ الطُّولِ الْمَوْجِيِّ لِلْمَوجَاتِ الْمُسْتَقِرَّةِ الَّذِى يَتَحَدَّدُ بِطُولِ عَمُودِ الْهَوَاءِ دَاخِلَ الْآلَةِ . كَمَا أَنَّهُ يُسَبِّبُ أَيْضًا انْخِفَاضًا أَو ارْتِفَاعًا فِي دَرَجَةِ الصَّوْتِ . وَفِي الْآلَاتِ النُّحَاسِيَّةِ ــ مِثْلِ الْبُوقِ وَالتُّوبَة ــ يُغَيِّرُ الْعَازِفُ وَضْعَ فَمِهِ وَيَضْغَطُ عَلَى صِمَامَاتٍ تُغَيِّرُ طُولَ عَمُودِ الْهَوَاءِ .

وَفِي الْمُتَرَدِّدَةِ أَو النَّفْخِ النُّحَاسِيَّةِ ، يَتِمُّ ضَبْطُ عَمُودِ الْهَوَاءِ بِإِزْلَاقِ الْأُنْبُوبِ الْمُقَوَّسِ لِلْقَاعِدَةِ إِلَى الدَّاخِلِ وَالْخَارِجِ . وَتُغَطَّى فُتْحَاتُ آلَاتِ النَّفْخِ الْمُوسِيقِيَّةِ الْبَسِيطَةِ ــ مِثْلِ الْفُلُوت والسُّرْنَاى ــ بِأَصَابِعِ الْيَدِ لِتُحْدِثَ نَفْسَ التَّأْثِير .

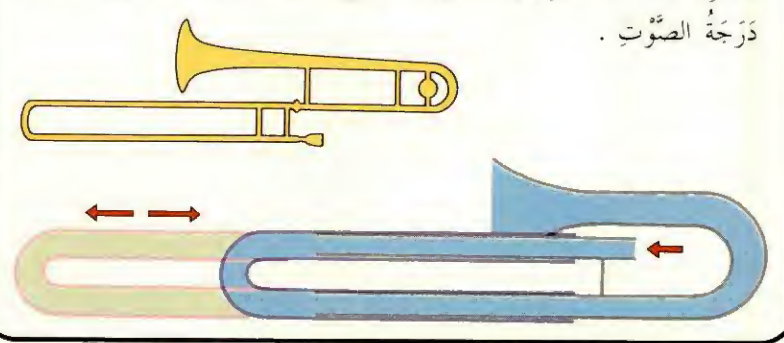


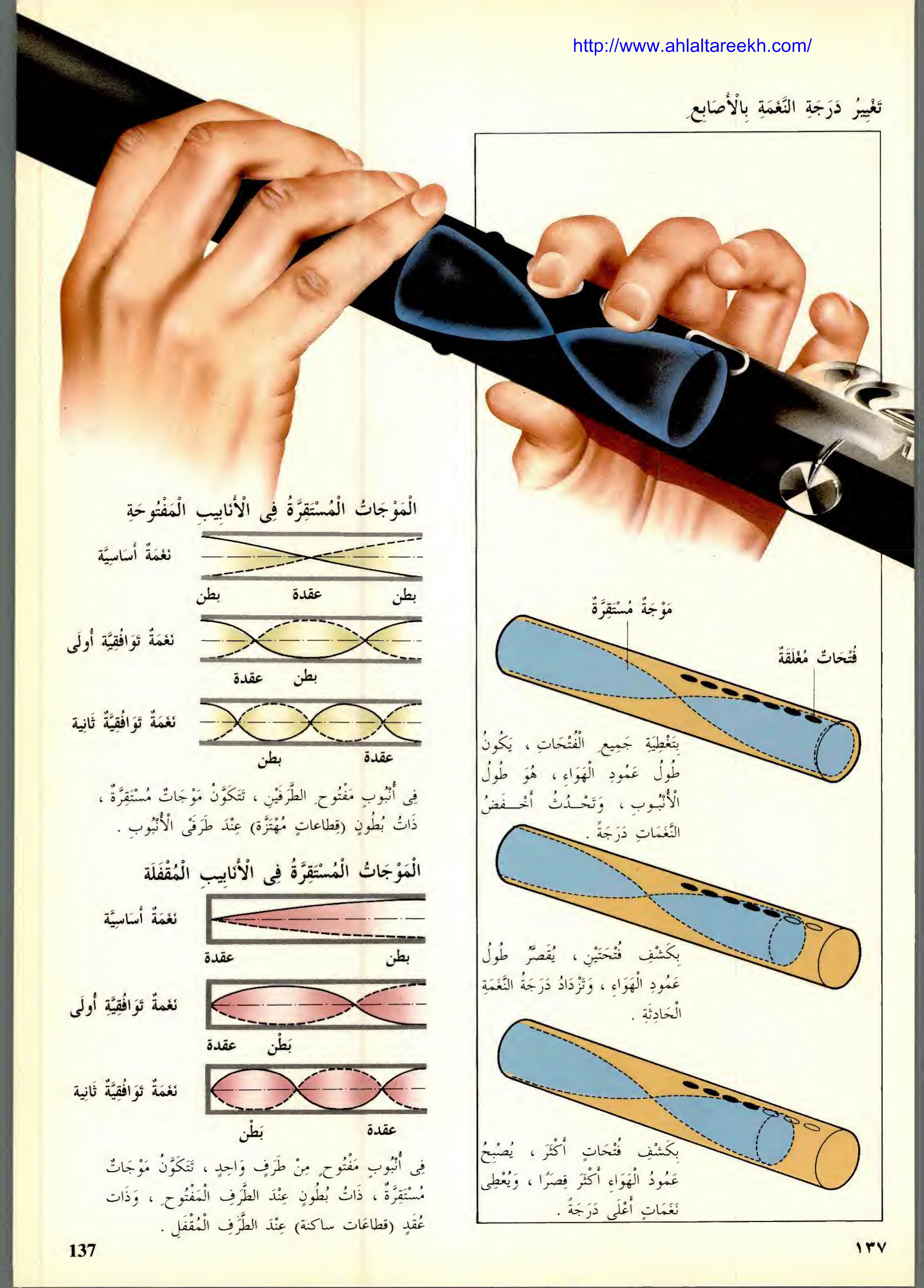
آلَةٌ مِنْ سُلَالَةٍ قَدِيمَةٍ

الْكِلَارِينِيْت الْمُعَقَّدَةُ (أعلى) تَنْتَمِي إِلَى مَزَامِيرِ الْخَيْزُرَانِ الْخَامِ وَالْفُلُوت الْبُدَائِيِّ الَّذِى صُنِعَ فِى الْحَضَارَاتِ الْأُولَى . وَأَقْدَمُ آلَةٍ هَوَائِيَّةٍ مُوسِيقِيَّةٍ سَبَقَت الْآلَاتِ الْوَتَرِيَّةَ بِآلَافِ السِّنِين . وَالْفُوَّهَةُ الْقُمْعِيَّةُ الشَّكْلِ لِلْكِلَارِينِتْ تَسْمَحُ بِسَرَيَانٍ دِينَامِيكِيٍّ لِمَوجَاتِ الصَّوْتِ فِى الْهَوَاءِ .

سُلَّمٌ مُوسِيقِيٌّ مُنْزَلِقٌ

فِي الْمُتَرَدِّدَةِ الْمُنْزَلِقَةِ ، يَتَّصِلُ بِجِسْمِ الْآلَةِ بِإِحْكَامٍ أُنْبُوبٌ نُحَاسِيٌّ مُقَوَّسٌ . وَتَحْرِيكُ هَذَا الْأُنْبُوبِ إِلَى الدَّاخِلِ وَالْخَارِجِ ، يُغَيِّرُ طُولَ عَمُودِ الْهَوَاءِ ، فَتَتَغَيَّرُ دَرَجَةُ الصَّوْتِ .





تَغْيِيرُ دَرَجَةِ النَّغَمَةِ بِالْأَصَابِعِ

بِتَغْطِيَةِ جَمِيعِ الْفُتْحَاتِ ، يَكُونُ طُولُ عَمُودِ الْهَوَاءِ ، هُوَ طُولُ الْأُنْبُوبِ ، وَتَحْدُثُ أَخْفَضُ النَّغَمَاتِ دَرَجَةً .

بِكَشْفِ فُتْحَتَيْنِ ، يُقَصَّرُ طُولُ عَمُودِ الْهَوَاءِ ، وَتَزْدَادُ دَرَجَةُ النَّغَمَةِ الْحَادِثَةِ .

بِكَشْفِ فُتْحَاتٍ أَكْثَرَ ، يُصْبِحُ عَمُودُ الْهَوَاءِ أَكْثَرَ قِصَرًا ، وَيُعْطِي نَغَمَاتٍ أَعْلَى دَرَجَةً .

الْمَوْجَاتُ الْمُسْتَقِرَّةُ فِي الْأَنَابِيبِ الْمَفْتُوحَةِ

فِي أُنْبُوبٍ مَفْتُوحِ الطَّرَفَيْنِ ، تَتَكَوَّنُ مَوْجَاتٌ مُسْتَقِرَّةٌ ، ذَاتُ بُطُونٍ (قِطاعاتٍ مُهْتَزَّة) عِنْدَ طَرَفَيِ الْأُنْبُوبِ .

الْمَوْجَاتُ الْمُسْتَقِرَّةُ فِي الْأَنَابِيبِ الْمُقْفَلَة

فِي أُنْبُوبٍ مَفْتُوحٍ مِنْ طَرَفٍ وَاحِدٍ ، تَتَكَوَّنُ مَوْجَاتٌ مُسْتَقِرَّةٌ ، ذَاتُ بُطُونٍ عِنْدَ الطَّرَفِ الْمَفْتُوحِ ، وَذَاتُ عُقَدٍ (قطاعات ساكنة) عِنْدَ الطَّرَفِ الْمُقْفَلِ .

ما هو تأثير دوبلر ؟

تَأْثِيرُ دُوبْلَر هُوَ التَّغَيُّرُ الْمَعْرُوفُ فِى الصَّوْتِ والَّذِى يَحْدُثُ عِنْدَمَا يَكُونُ مَصْدَرُ الصَّوْتِ مُتَحَرِّكًا بِالنِّسْبَةِ لِلْمُسْتَمِعِ . فَإِذَا كَانَ الْمُسْتَمِعُ سَاكِنًا ، فَإِنَّ الصَّوْتَ يَبْدُو كَأَنَّ دَرَجَتَهُ تَزْدَادُ تَدْرِيجِيًّا بِاقْتِرَابِ الْمَصْدَرِ ، وَتقِلُ عِنْدَ مُرُورِهِ بِالْمُسْتَمِعِ مُبْتَعِدًا عَنْهُ . وَيَحْدُثُ تَأْثِيرُ دُوبْلَر بِوَاسِطَةِ صُدُورِ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ الَّتِى تَصِلُ إِلَى الْمُسْتَمِعِ بِتَرَدُّدٍ أَكْبَرَ عِنْدَمَا يَقْتَرِبُ الْمَصْدَرُ مِن الْمُسْتَمِعِ . وَيَصْحَبُ هَذِهِ الزِّيَادَةَ فِى التَّرَدُّدِ ، نَقْصٌ فِى الطُّولِ الْمَوْجِىِّ . وَكَمَا نَعْلَمُ ، فَإِنَّهُ كُلَّمَا زَادَ تَرَدُّدُ صَوْتٍ ، زَادَتْ دَرَجَةُ الصَّوْتِ . وَيَحْدُثُ الْعَكْسُ ، عِنْدَمَا يَبْتَعِدُ مَصْدَرُ الصَّوْتِ عَن الْمُسْتَمِعِ . فَيَنْخَفِضُ التَّرَدُّدُ ، وَيَزْدَادُ الطُّولُ الْمَوْجِىُّ ، وَتُصْبِحُ النَّغْمَةُ الظَّاهِرِيَّةُ لِلصَّوْتِ بَعِيدَةً عَن الْمُسْتَمِعِ . فَيَنْخَفِضُ التَّرَدُّدُ ، وَيَزْدَادُ الطُّولُ الْمَوْجِىُّ ، وَتُصْبِحُ النَّغْمَةُ الظَّاهِرِيَّةُ لِلصَّوْتِ ، أَخْفَضَ فَأَخْفَضَ .

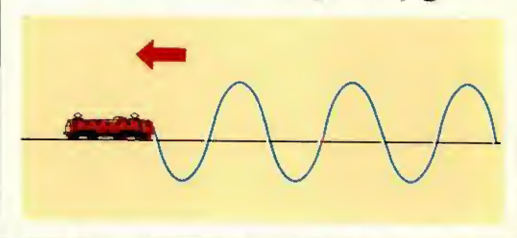
وَيُلاحَظُ تَأْثِيرُ دُوبْلَر عَادَةً فِى صَفَّارَاتِ القِطَارَاتِ الْعَابِرَةِ ، وَمُرُورِ سَيَّارَةِ الإِسْعَافِ أَو الشُّرطَةِ ، وَالطَّائِرَاتِ النَّفَّاثَةِ الَّتِى تَخْتَرِقُ الْهَوَاءَ.



قِطَارٌ قَادِمٌ يُصَفِّرُ بِصَوْتٍ حَادٍّ

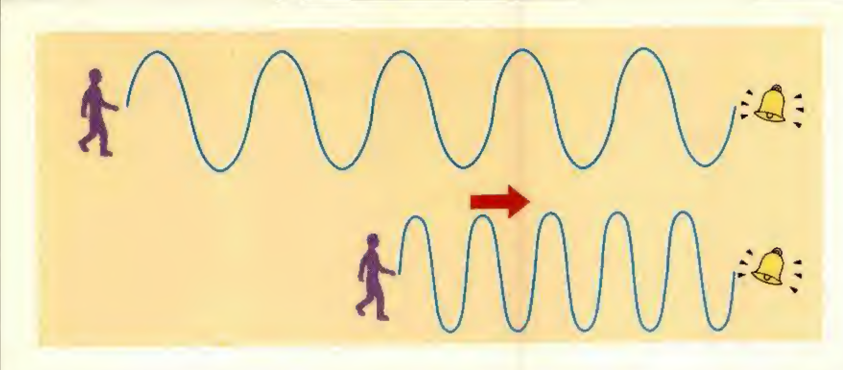
قِطَارٌ مُبْتَعِدٌ

عِنْدَمَا يَبْتَعِدُ الْقِطَارُ ، تَسْتَغْرِقُ صُدُورُ مَوْجَاتِ صَفَّارَتِه وَقْتًا أَطْوَلَ لِتَصِلَ إِلَى الْمُسْتَمِعِ ، فَيُحِسُّ الْمُسْتَمِعُ بِانْخِفَاضٍ فِى دَرَجَةِ الصَّوْتِ .



خِدَاعٌ تَصْنَعُهُ الْحَرَكَةُ

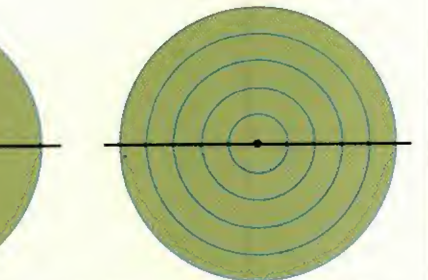
الْمُسْتَمِعُ دَاخِلَ قِطَارٍ ، يُحِسُّ أَنَّ دَرَجَةَ صَوْتِ الصَّفَّارَةِ ثَابِتٌ . وَلَكِنْ لِلْمُسْتَمِعِ خَلْفَ الْقِطَارِ أَوْ أَمَامَهُ (فوق ، يسار) تَتَغَيَّرُ دَرَجَةُ النَّغَمَةِ بِسَبَبِ اخْتِلافِ الْمَسَافَةِ بَيْنَ صُدُورِ الْمَوْجَاتِ .



مَنْظَرٌ مُتَبَدِّلٌ

وَلِفَهْمِ تَأْثِيرِ دُوبْلَر بِطَرِيقَةٍ أُخْرَى ، نَتَصَوَّرُ مُسْتَمِعًا يَقْتَرِبُ مِن الصَّوْتِ . فَكُلَّمَا زَادَ اقْتِرَابُهُ مِن الْجَرَسِ ، زَادَتْ سُرْعَةُ وُصُولِ صُدُورِ الْمَوْجَاتِ إِلَيْهِ ، وَزَادَتْ دَرَجَةُ صَوْتِ الْجَرَسِ الَّذِى يَسْمَعُه .

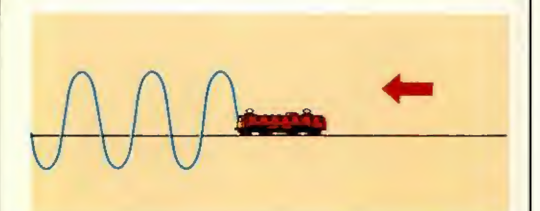
مَنْظَرَانِ مِنْ أَعْلَى

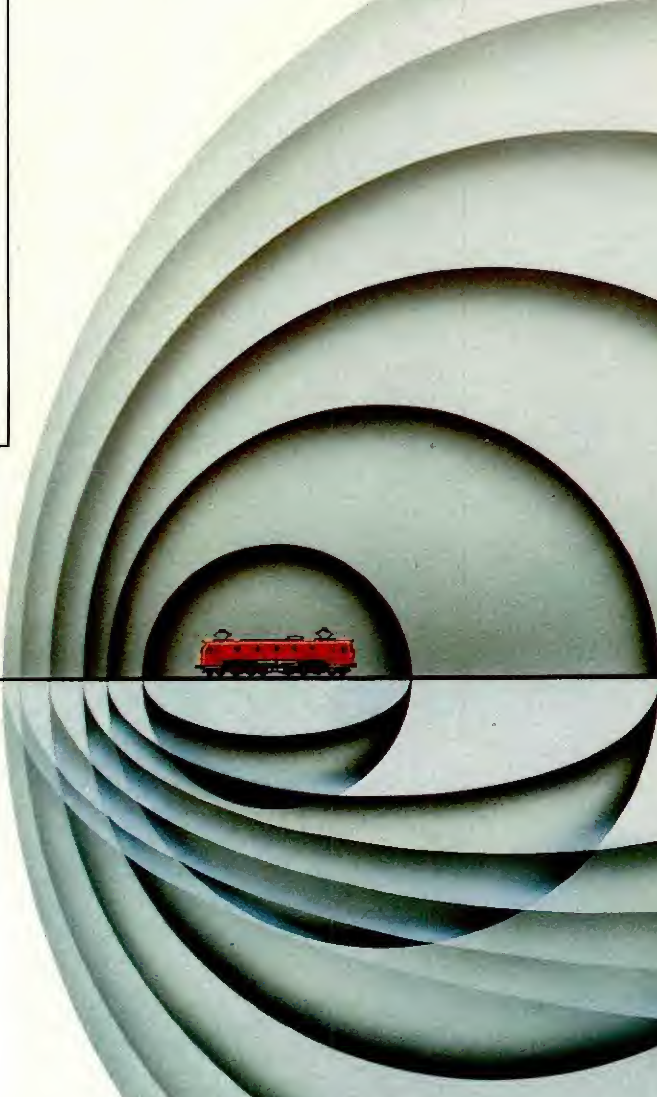


تَتَحَرَّكُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ مِنْ مَصْدَرٍ ثَابِتٍ فِى دَوَائِرَ مَرْكَزِيَّةٍ (أعلى). أَمَّا الْمَوْجَاتُ مِنْ مَصْدَرٍ مُتَحَرِّكٍ (أعلى ــ يسار) فَتُدْفَعُ أَمَامَ الْمَصْدَرِ . وَيَنْضَغِطُ طُولُ الْمَوْجَاتِ ، فَتَعْلُو دَرَجَةُ الصَّوْتِ .

قِطَارٌ مُقْتَرِبٌ

كُلَّمَا زَادَ اقْتِرَابُ الْقِطَارِ ، تَصِلُ صُدُورُ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ أَسْرَعَ إِلَى الْمُسْتَمِعِ ، وَيَبْدُو الصَّوْتُ كَأَنَّ دَرَجَته زَادَتْ .

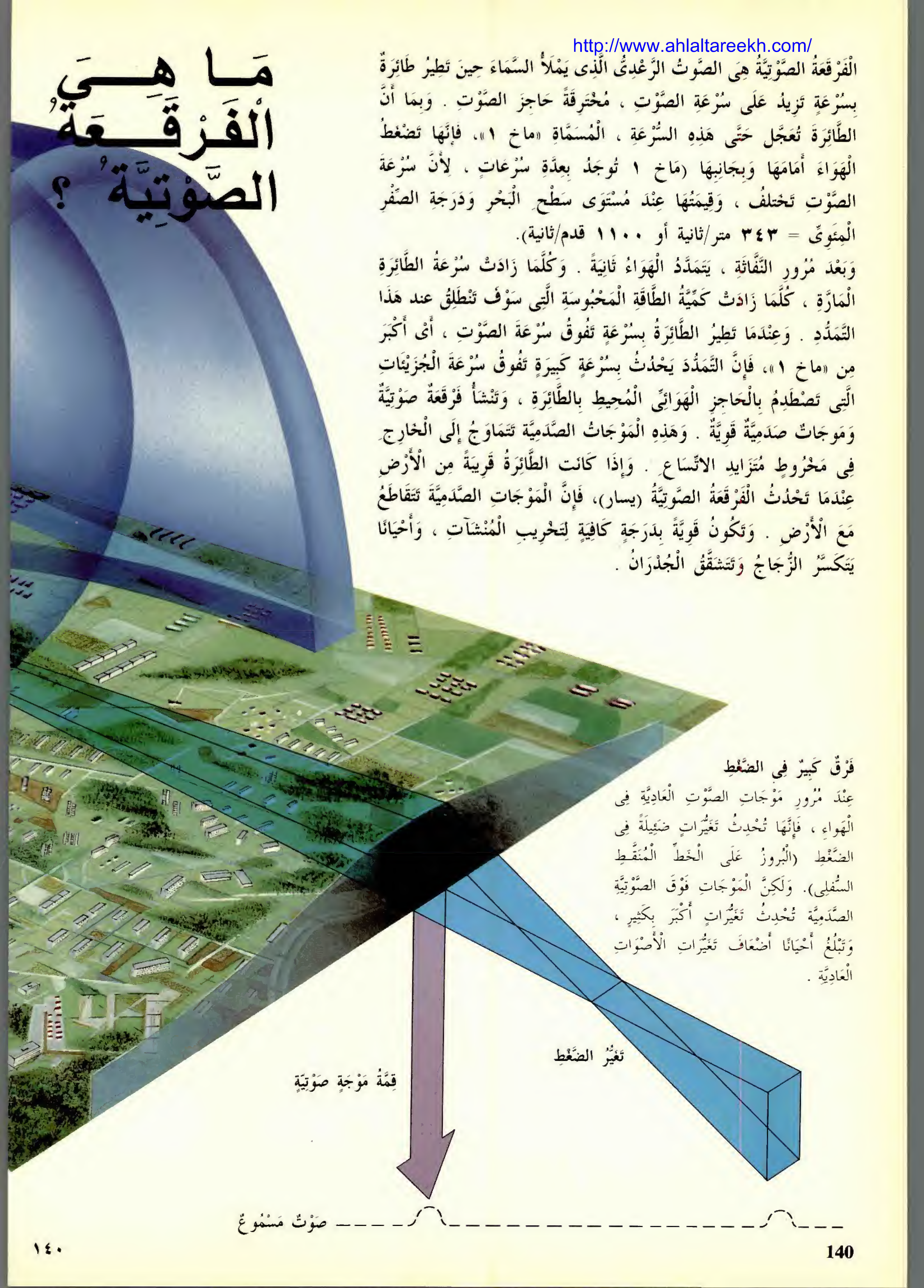




مَا هِيَ الْفَرْقَعَةُ الصَّوْتِيَّةُ ؟

الْفَرْقَعَةُ الصَّوْتِيَّةُ هِيَ الصَّوْتُ الرَّعْدِيُّ الَّذِى يَمْلأُ السَّمَاءَ حِينَ تَطِيرُ طَائِرَةٌ بِسُرْعَةٍ تَزِيدُ عَلَى سُرْعَةِ الصَّوْتِ ، مُخْتَرِقَةً حَاجِزَ الصَّوْتِ . وَبِمَا أَنَّ الطَّائِرَةَ تُعَجِّل حَتَّى هَذِهِ السُّرْعَةِ ، الْمُسَمَّاةِ «ماخ ١» ، فَإِنَّهَا تَضْغَطُ الْهَوَاءَ أَمَامَهَا وَبِجَانِبِهَا (مَاخ ١ تُوجَدُ بِعِدَّةِ سُرْعَاتٍ ، لأَنَّ سُرْعَةَ الصَّوْتِ تَختلف ، وَقِيمَتُهَا عِنْدَ مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحْرِ وَدرَجَةِ الصِّفْرِ الْمِئوِيِّ = ٣٤٣ متر/ثانية أو ١١٠٠ قدم/ثانية).

وَبَعْدَ مُرُورِ النَّفَّاثَةِ ، يَتَمَدَّدُ الْهَوَاءُ ثَانِيَةً . وَكُلَّمَا زَادَتْ سُرْعَةُ الطَّائِرَةِ الْمَارَّةِ ، كُلَّمَا زَادَتْ كَمِّيَّةُ الطَّاقَةِ الْمَحْبُوسَةِ الَّتِى سَوْفَ تَنْطَلِقُ عند هَذَا التَّمَدُّدِ . وَعِنْدَمَا تَطِيرُ الطَّائِرَةُ بِسُرْعَةٍ تَفُوقُ سُرْعَةَ الصَّوْتِ ، أَىْ أَكْبَرَ مِن «ماخ ١» ، فَإِنَّ التَّمَدُّدَ يَحْدُثُ بِسُرْعَةٍ كَبِيرَةٍ تَفُوقُ سُرْعَةَ الْجُزَيْئَاتِ الَّتِى تَصْطَدِمُ بِالْحَاجِزِ الْهَوَائِيِّ الْمُحِيطِ بِالطَّائِرَةِ ، وَتَنْشَأُ فَرْقَعَةٌ صَوْتِيَّةٌ وَمَوجَاتٌ صَدَمِيَّةٌ قَوِيَّةٌ . وَهَذِهِ الْمَوْجَاتُ الصَّدَمِيَّة تَتَمَاوَجُ إِلَى الْخَارِجِ فِى مَخْرُوطٍ مُتَزَايِدِ الاتِّسَاعِ . وَإِذَا كَانَتِ الطَّائِرَةُ قَرِيبَةً مِن الْأَرْضِ عِنْدَمَا تَحْدُثُ الْفَرْقَعَةُ الصَّوْتِيَّةُ (يسار) ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الصَّدَمِيَّةَ تَتَقَاطَعُ مَعَ الْأَرْضِ . وَتَكُونُ قَوِيَّةً بِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ لِتَخْرِيبِ الْمُنْشَآتِ ، وَأَحْيَانًا يَتَكَسَّرُ الزُّجَاجُ وَتَتَشَقَّقُ الْجُدْرَانُ .



فَرْقٌ كَبِيرٌ فِى الضَّغْطِ

عِنْدَ مُرُورِ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ الْعَادِيَّةِ فِى الْهَوَاءِ ، فَإِنَّهَا تُحْدِثُ تَغَيُّرَاتٍ ضَئِيلَةً فِى الضَّغْطِ (الْبروزُ عَلَى الْخَطِّ الْمُنَقَّطِ السُّفلى) . وَلَكِنَّ الْمَوْجَاتِ فَوْقَ الصَّوْتِيَّةِ الصَّدَمِيَّةَ تُحْدِثُ تَغَيُّرَاتٍ أَكْبَرَ بِكَثِيرٍ ، وَتَبْلُغُ أَحْيَانًا أَضْعَافَ تَغَيُّرَاتِ الْأَصْوَاتِ الْعَادِيَّةِ .



مَوْجَةٌ مُتَغَيِّرَةٌ

هَذِهِ الرُّسُومَاتُ الْبَيَانِيَّةُ الثَّلَاثَةُ تُوَضِّحُ الشَّكْلَ الْمُتَغَيِّرَ لِمَوْجَةِ صَوْتٍ عِنْدَمَا تَقْتَرِبُ الطَّائِرَةُ مِنْ سُرْعَةِ الصَّوْتِ . فِي أَعْلَى ، صَدْرُ الْمَوْجَة مُدرج أ ، ب ، ج ، د لِتُبَيِّن الْمُنْحَنى . وَيَزْدَادُ انْحِدَارُ الصَّدْر فِي الشَّكْلَيْنِ السُّفْلِيَّيْنِ حَتَّى يُصْبِحَ صَدْرًا مُسْتَوِيًا لِمَوْجَةٍ صَدَمِيَّة (أسفل)، تُحْدِثُ فَرقَعَةً صَوْتِيَّةً .

عِنْدَ الْحَافَةِ الْأَمَامِيَّة

تَتَكَوَّنُ الْمَوْجَاتُ الصَّدَمِيَّةُ (وتد أزرق) عَلَى طُولِ مُقَدِّمَةِ جَنَاحِ الطَّائِرَةِ (رمادى). وَتَتْبَعُهَا التَّيَّارَاتُ الدُّوَّامِيَّةُ الْعَنِيفَةُ فِي الْخَلْفِ . وَعِنْدَ السُّرْعَاتِ الْعَالِيَةِ تَمْتَدُّ هَـذِهِ الْمَوْجَاتُ إِلَى الْخَلْفِ ، مُحْدِثَةً ضَغْطًا كَبِيرًا عَلَى الْأَجْنِحَةِ .

كَيْفَ يَتِمُّ ضَبْطُ (دَوْزَنَةُ) الآلاتِ الْمُوسِيقِيَّةِ ؟

فِي بِدَايَةِ أَيِّ حَفْلَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ يَضْبِطُ الْمُوسِيقِيُّونَ فِي الْأُورْكِسْتِرَا السِّيمْفونِي أَوْزَانَ آلاتِهِمْ عَلَى نَغْمَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ مُعَيَّنَةٍ يَعْزِفُهَا عَازِفُ الْمِزْمَارِ ، وَبِذَلِكَ يَضْمَنُونَ تَآلُفَ الْأَلْحَانِ . وَلَكِنْ عِنْدَمَا تَخْرُجُ آلَةٌ مُوسِيقِيَّةٌ ــ مِثْلُ بِيَانُو ــ عَنِ التَّنَاغُمِ ، فَإِنَّ ذَلِكَ يَتَطَلَّبُ طُرُقًا أَكْثَرَ تَعْقِيدًا . وَبَعْدَ ذَلِكَ ، يَجِبُ عَلَى الْعَازِفِينَ الْمُدَرَّبِينَ شَدُّ أَوْ إِرْخَاءُ أَوْتَارِ كُلِّ مِفْتَاحٍ لِتَتَّفِقَ دَرَجَةُ الصَّوْتِ تَمَامًا مَعَ تَرَدُّدِ الشَّوْكَةِ الرَّنَّانَةِ الْمُنَاسِبَةِ . وَالشَّوْكَةُ الرَّنَّانَةُ هِيَ أَدَوَاتٌ عَالِيَةُ الدِّقَّةِ تُنْتِجُ تَرَدُّدَاتٍ مُعَيَّنَةً عِنْدَمَا تُطْرَقُ لِتَهْتَزَّ . فَمَثَلًا الشَّوْكَةُ الرَّنَّانَةُ الْمُصَمَّمَةُ لِتَهْتَزَّ عِنْدَ ٢٦٢ هِرْتِزْ ــ أو حِدَّةِ تَرَدُّدٍ ــ تُنْتِجُ النَّغْمَةَ C الْوَسَطَ عَلَى السُّلَّمِ الْمُوسِيقِيِّ الثُّمَانِي ، بَيْنَمَا الشَّوْكَةُ الرَّنَّانَةُ الَّتِي تَهْتَزُّ عِنْدَ ٤٤٠ هِرْتِزْ تُنْتِجُ النَّغْمَةَ A عَلَى نَفْسِ السُّلَّمِ الْمُوسِيقِيِّ، وَتُسَمَّى النَّغْمَةَ A الْوَسَطَ ، وَتِلْكَ عِنْدَ ٥٢٤ هِرْتِزْ تُنْتِجُ جَوَابَ النَّغْمَةِ C الْوَسْطِ (الْجَوَابُ هُوَ ضِعْفُ تَرَدُّدِ النَّغْمَةِ). وَيُنْسَبُ تَرَدُّدُ أَيِّ جَوَابٍ إِلَى النَّغْمَةِ الْأَصْلِيَّةِ . وَتَهْتَزُّ النَّغْمَةُ الْأَعْلَى ضِعْفَ اهْتِزَازِ النَّغْمَةِ الْأَخْفَضِ تَمَامًا . وَالْمُدَوْزِنُ (ضابط الآلات) الْخَبِيرُ يُمْكِنُهُ أَنْ يُحَدِّدَ بِمُنْتَهَى الدِّقَّةِ مَتَى تَكُونُ نَغْمَةُ الْبِيَانُو مُطَابِقَةً لِنَغْمَةِ الشَّوْكَةِ الرَّنَّانَةِ . وَعِنْدَمَا تَخْتَلِفُ النَّغْمَتَانِ ، تَتَدَاخَلُ مَوْجَاتُهُمَا ، وَتُسْمَعُ نَبْضَةٌ صَوْتِيَّةٌ ، تُسَمَّى ضَرْبَةً . وَعِنْدَمَا تَخْتَفِي الضَّرَبَاتُ ، يَكُونُ الْمِفْتَاحُ فِي تَنَاغُمٍ .

صَوْتُ نَغْمَةِ بِيَانُو

ضَرْبَة

شَوْكَةٌ رَنَّانَة

ضَبْطُ نَغْمَةِ وَتَرٍ

تَهْتَزُّ الشَّوْكَةُ الرَّنَّانَةُ عِنْدَ ٤٤٠ هِرْتِزْ ، وَيَهْتَزُّ مِفْتَاحُ الْبِيَانُو A غَيْرُ الْمَضْبُوطِ عِنْدَ ٥٢٠ هِرْتِز . وَعِنْدَمَا تَتَدَاخَلُ النَّغْمَتَانِ (الموجة الثالثة) يُنْتِجُ مَوْجَةً مُتَرَاوِحَةً . وَيُضْبَطُ الْمِفْتَاحُ تَدْرِيجِيًّا (الموجة الرابعة) تَظَلُّ الْمَوْجَةُ مُتَقَلِّبَةً . وَعِنْدَمَا تَتَّفِقُ دَرَجَتَا النَّغْمَتَيْنِ (الموجة السفلية)، يُصْبِحُ الصَّوْتُ مُسْتَقِرًّا .

٠,١ ثانية

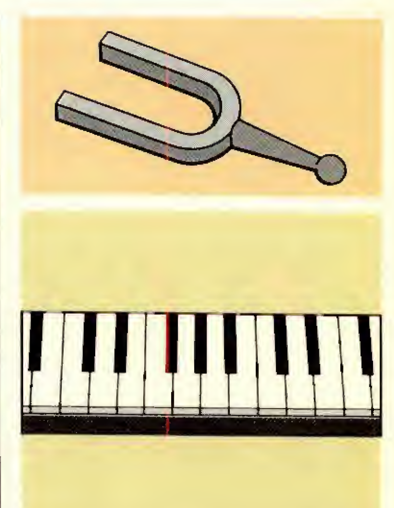
٤٤٠ هرتز

٥٢٠ هرتز

٤٤٠ هرتز
٥٢٠ هرتز

٤٤٠ هرتز
٤٨٠ هرتز

٤٤٠ هرتز
٤٤٠ هرتز



وَقْتٌ لِلضَّبْطِ

النَّبَضَاتُ الصَّوْتِيَّةُ الْمُتَقَلِّبَةُ النَّاتِجَةُ عَنْ تَدَاخُلِ مَوْجَتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيْ التَّرَدُّدِ تُوَضِّحُ الْحَاجَةَ إِلَى ضَبْطِ النَّغَمَاتِ ، لِأَنَّهَا تُنْتِجُ نَغَمَاتٍ ذَاتَ سِعَاتٍ مُتَغَيِّرَةٍ (الموجة الثالثة والرابعة) .

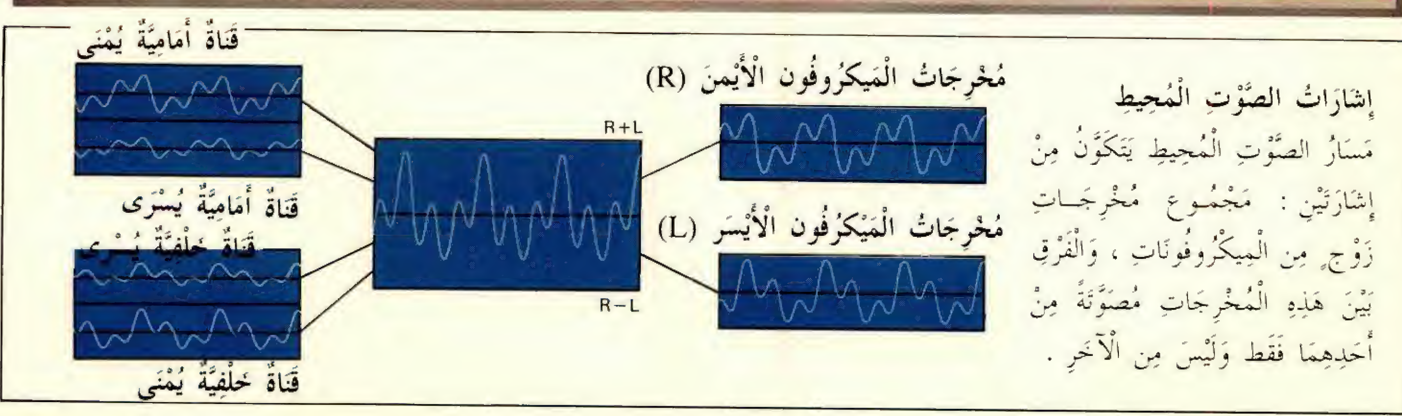


الرَّنِينُ

الشَّوْكَةُ الرَّنَّانَةُ الْمُتَّفِقَةُ الدَّرَجَةِ تَهْتَزُّ الْوَاحِدَةُ تِلْوَ الْأُخْرَى إِذَا طُرِقَتْ إِحْدَاهَا فَقَطْ . وَيَحْدُثُ هَذَا الرَّنِين فِي الْبَنْدُولَاتِ الَّتِي لَهَا نَفْسُ الطُّولِ (أسفل يمين) . وَلَا تَسْتَجِيبُ الْبَنْدُولَاتُ مُخْتَلِفَةُ الطُّولِ (أسفل يسار) .

ما هو نظامُ الصَّوْتِ الْمحيط ؟

نِظَامُ الصَّوْتِ الْمُحِيطِ يُعْطِى الْمُسْتَمِعَ فِى غُرفَةٍ صَغِيرَةٍ الْإِحْسَاسَ بِالتَّوَاجُدِ دَاخِلَ قَاعَةِ جَوْقَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ (كُونْسِرتْ) . وَهَذَا الْانْطِبَاعُ يَعْتَمِدُ عَلَى تَسْجِيلَاتٍ مُعَيَّنَةٍ ، تُضْبَطُ بِالْحَاسِبِ الْآلِيِّ لِتَحْمِلَ مَسَارَاتِ صَوْتٍ مُنْفَصِلَةً إِلَى أَرْبَعِ قَنَوَاتٍ تَغْذِيَةٍ فِى مُكَبِّرَاتِ صَوْتٍ يَسَارَ الْمُقَدِّمَةِ ، وَيَسَارَ الْمُؤَخِّرَةِ ، وَيَمِينَ الْمُقَدِّمَةِ ، وَيَمِينَ الْمُؤَخِّرَةِ . وَيَتَمَكَّنُ مُهَنْدِسُو التَّسْجِيلِ مِنْ حَذْفِ بَعْضِ الْأَصْوَاتِ ، وَتَقْوِيَةِ أَصْوَاتٍ أُخْرَى بِوَاسِطَةِ مُعَالِجَاتٍ رَقْمِيَّةٍ . وَهَذَا يَسْمَحُ لِلْمُهَنْدِسِينَ بِأَخْذِ مَوْجَاتٍ صَوْتِيَّةٍ نَقِيَّةٍ مِنَ الْآلَاتِ ، ثُمَّ إِدْمَاجُهَا مَعَ تَأْثِيرَاتِ الْمَوْجَاتِ الْمُنْعَكِسَةِ وَالْمُمْتَصَّةِ بِوَاسِطَةِ جُدْرَانِ قَاعَةِ الْحَفْلِ . وَالتَّسْجِيلُ النَّاتِجُ يَحْمِلُ مَعْلُومَاتٍ كَافِيَةً لِإِحَاطَةِ الْمُسْتَمِعِ بِالصَّوْتِ .



إِشَارَاتُ الصَّوْتِ الْمُحِيطِ

مَسَارُ الصَّوْتِ الْمُحِيطِ يَتَكَوَّنُ مِنْ إِشَارَتَيْنِ : مَجْمُوعِ مُخْرَجَاتِ زَوْجٍ مِنَ الْمِيكْرُوفُونَاتِ ، وَالْفَرْقِ بَيْنَ هَذِهِ الْمُخْرَجَاتِ مُصَوَّتَةً مِنْ أَحَدِهِمَا فَقَط وَلَيْسَ مِنَ الْآخَرِ .

معانى المصطلحات

ديناميكا هوائية دراسة القوى التى تُؤَثِّر عَلَى الأَجْسَامِ المتحركة فى الهواء . : **Aerodynamics**

مسطح هوائى رقيق أى جسم مثل جناح الطائرة، مصمم بحيث يولد رفع عند تحركه فى الهواء . : **Airfoil**

جسيم ألفا جسيم يتكون من بروتونين ونيوترونين ينطلق من نوى الذرات أثناء الاضمحلال الإشعاعى . : **Alpha particle**

تيار متردد تيار كهربى يغير اتجاهه. : **Alternating current**

سعة أقصى ارتفاع لقمم الموجة. : **Amplitude**

كمية التحرك الزاوى مقياس لطاقة دوران جسم تعتمد قيمته على سرعة دورانه وكتلته . : **Angular momentum**

بطن أعلى نقطة على موجة موقوفة تمثل أقصى سعة. : **Antinode**

ضغط جوى الضغط الناتج عن الهواء الجوى. والضغط الجوى المعتاد عند مستوى سطح البحر يساوى ١٤,٧ رطل لكل بوصة مربعة. : **Atmospheric pressure**

بطارية خلية تتكون من مواد كيماوية تعمل كمصدر للقوة الدافعة الكهربية عند توصيلها فى دائرة . : **Battery**

جسيم بيتا جسيم يتكون من إلكترون أو بوزيترون ينطلق أحيانا من نوى الذرات عند الاضمحلال الإشعاعى. : **Beta particle**

نقطة الغليان درجة الحرارة التى يتحول عندها السائل كله إلى بخار. : **Boiling point**

قوة الدفع قوة تعمل إلى أعلى، وتساوى وزن المائع (سائل أو غاز) المزاح بواسطة جسم. : **Buoyant force**

دائرة كهربية مسار مغلق يسرى خلاله التيار الكهربى . والدوائر الكهربية التى بها مقاومات يمكن توصيل المقاومات فيها: على التوازى بحيث تكون عروة متصلة بالدائرة ، أو على التوالى بحيث تتصل المقاومات ببعضها الواحدة تلو الأخرى. : **Circuit**

مقعر سطح منحن للداخل، مثل السطح الداخلى لكرة جوفاء. : **Concave**

تكثيف عملية التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة أو الصلبة . : **Coandensation**

موصل مادة تسمح بمرور التيار الكهربى . : **Conductor**

حمل عملية تدور فيها الحرارة خلال حجم من السائل أو الغاز . : **Convectin**

محدب سطح منحن للخارج ، كما فى مرآة أو عدسة ، ومثل السطح الخارجى لكرة . : **Convex**

كثافة النسبة بين كتلة الجسم إلى حجمه . : **Density**

حيود خاصية انحناء موجات الضوء حول حواف جسم تصادفه . : **Diffraction**

دايو ــ ثنائى الأقطاب مُعِدَّة تسمح بسريان التيار الكهربى فى اتجاه واحد فقط. : **Diode**

تيار مستمر تيار كهربى يسرى فى اتجاه واحد (موحد الاتجاه). : **Direct current**

تأثير دُوبْلَر ظاهرة يزداد فيها التردد ــ وبالتالى الدرجة ــ لموجة صوتية، أو تقل، بالنسبة لمستمع، عند اقتراب مصدر الصوت أو ابتعاده عن المستمع. : **Doppler effect**

Drag : **مقاومة** قوة الاحتكاك التى تقاوم حركة جسم فى الهواء.

Elastic limit : **حد المرونة** القوة القصوى التى عندها يستعيد زنبرك ــ مشدود أو مضغوط ــ شكله الأصلى، والتى بعدها يتغير شكل الزنبرك تغيرا مستديما.

Electricity : **كهرباء** المجال الناتج عن شحنة كهربية ، فالشحنة الساكنة ينتج عنها كهربية ساكنة (استاتيكية)، أما الشحنة المتحركة فينتج عنها تيار كهربى.

Electromagnet : **مغناطيس كهربى** مغناطيس يصنع بلف سلك يحمل تيارا كهربيا حول مادة حديدومغناطيسية، فينشأ لها مجال مغناطيسى .

Electromagnetic induction : **حث كهرومغناطيسى** ظاهرة يُسَبب فيها مجال مغناطيسى متغير سريان تيار فى موصل قريب بالحث .

Electromagnetic radiation : **إشعاع كهرومغناطيسى** طاقة على صورة موجات كهرومغناطيسية أو فوتونات، تسير بسرعة الضوء ، وتولد مجالات كهربية ومغناطيسية أثناء تقدمها. وتتناسب طاقة الموجات الكهرومغناطيسية عكسيا مع طول الموجة. وأشعة جاما لها أعلى طاقة وأقصر طول موجة، تليها فى اتجاه نقصان الطاقة وكبر طول الموجة الأشعة السينية، ثم الأشعة الفوق بنفسجية، فالضوء المرئى، فالأشعة تحت الحمراء، ثم موجات الراديو.

Electromotive force (Voltago) : **قوة دافعة كهربية (فولطية)** القوة التى تدفع الإلكترونات فى دائرة كهربية فَتُنْتج تيارا.

Electrons : **إلكترونات** أحد مكونات الذرة الثلاثة مع البروتون والنيوترون .

Energy level : **مستوى الطاقة** المدار الذى يشغله الإلكترون عند دورانه حول نواة الذرة.

Evaporation : **بخر** عملية تحول بطىء للسائل إلى بخار.

Ferromagnetic material : **مادة حديدو مغناطيسية** مادة كالحديد قابلة للمغنطة.

Filament : **فتيلة** سلك رفيع يتوهج داخل مصباح التوهج عند تسخينه بتيار كهربى.

Fluorescent light : **ضوء الفلورسنت** ضوء يتولد عندما يثير تيار كهربى ذرات بخار الزئبق، فينبعث منها إشعاع فوق بنفسجى. يسبب توهج مادة كيميائية متفسفرة.

Focal length : **بعد بؤرى** المسافة بين البؤرة ومركز عدسة أو مرآة .

Focal piont : **بؤرة** البقعة التى تتجمع عندها موجات الضوء عند انعكاسها على مرآة منحنية أو عندما تمر خلال عدسة.

Fossil fuel : **وقود أحفورى** أية مادة ــ قبل زيت البترول أو الفحم أو الغاز الطبيعى ــ تتكون نتيجة تحلل مواد عضوية منذ ملايين السنين .

Frequency : **تردد** عدد قمم موجة متحركة التى تمر بنقطة معينة فى الثانية الواحدة.

Friction : **احتكاك** قوة تُعَطِّل حركة الأجسام فيما بينها.

Fundamental tone : **نفخة أساسية** الصوت الناتج عن أكبر طول موجى لموجة موقوفة فى الآلات الموسيقية . وهى أقل تردد للصوت الصادر .

Gear ratio : **نسبة تعشيق التروس** النسبة بين أحجام التروس أو عدد أسنان (مسننات) لترسين سواء معشقين أو متصلين بواسطة جنزير .

Geiger counter : **عداد جَيْجَرْ** مُعِدَّة لقياس النشاط الإشعاعى عن طريق عد عدد نواتج الاضمحلال الإشعاعى المشحونة التى تسقط عليه.

Generator : **مُوَلِّد** أية آلة تحول الحركة الميكانيكية إلى تيار كهربى.

Geothermal power : **قدرة جيوحرارية** استخدام البخار الناتج طبيعيا من الآبار العميقة داخل باطن الأرض ليدير تربينا لتوليد الكهرباء .

Gravitational field : **مجال جاذب** المنطقة التى تظهر فيها قوة الجاذبية لجسم .

Gravity : **جاذبية** القوة المسئولة عن الجذب المتبادل بين كتل متباعدة. وقوة الجذب بين جسمين تتناسب مع كتلتيهما وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

Ground state : **الحالة الأرضية (المستقرة)** المستوى الأدنى لطاقة الإلكترون فى ذرته.

Heat of transformation : **حرارة التحول** الطاقة اللازمة لمادة لكى تتحول من حالة إلى أخرى.

Incandescent light : **ضوء متوهج** الضوء الناتج عن تسخين فتيلة رفيعة كهربيا، إذ إنها عندما تسخن الفتيلة بدرجة كافية فإنها تعطى ضوءًا .

Inertia : **قصور ذاتى** عجز الجسم عن تغيير حالته من سكون أو حركة من تلقاء نفسه.

Insulator : **عازل** موصل ردىء للحرارة أو الكهرباء.

Interference : **تداخل** خاصية الضوء التى تُقوى فيه موجاته بعضها البعض أو تلغى بعضها البعض عند تقابلها.

Kinetic energy : **طاقة الحركة** مقياس لطاقة حركة الجسم ، فكلما زادت سرعة الجسم كلما زادت طاقة حركته.

Laser : **مُعِدَّة** ينتج عنها شعاع ضوء قوى ذو طول موجى واحد.

Light : **ضوء** إشعاع كهرومغناطيسى تقع طول موجته بين ٠,٠٠٠٠١٥ ، ٠,٠٠٠٠٣ بوصة تستقبله العين على هيئة ألوان عندما تسقط عليها.

Magnetic field : **مجال مغناطيسى** المنطقة التى تظهر فيها قوة الجذب أو التنافر لمغناطيس.

Magnetic pole : **قطب مغناطيسى** أطراف المغناطيس المسماة شمالى وجنوبى، والتى عندها يخرج أو يتجمع المجال المغناطيسى.

Magnetism : **مغناطيسية** قوة جذب أو تنافر بين جسمين جزيئاتهما مرئية بحيث تولد مجالا مغناطيسيا.

Mass : **كتلة** مقياس لكمية المادة فى جسم. وتعين بميله لمقاومة التسارع (العجلة).

Mechanical advantage : **فائدة ميكانيكية** الدرجة التى تغير بها آلة بسيطة المجهود إلى شغل.

Neutrino : **نيوترينو** أحد مركبات الذرة التى لاتحمل شحنة، وليس لها كتلة، أو كتلتها صغيرة جدا.

Neutrons : **نيوترونات** من مكونات الذرة الثلاثة مع البروتونات والإلكترونات، والنيوترون لايحمل شحنة، ويوجد فى نواة الذرة.

Node : **عقدة** نقطة فى الموجات الموقوفة حيث تكون سعتها مساوية للصفر.

N-type silicon : **سيليكـــون سالب النوع ـــ سيليكون ـ N** : سيليكون يحتوى على فائض من الإلكترونات .

Nuclear energy : **طاقة نووية** طريقة للحصول على الكهرباء حيث تستخدم الحرارة الناتجة عن الانشطار النووى لغلى الماء ليعمل البخار الناتج على إدارة تربين .

Nucleus : **نواة** مركز الذرة الذى تدور حوله الإلكترونات وتحتوى على بروتونات ونيوترونات الذرة .

Objective lens : **عدسة شيئية** العدسة فى بعض التلسكوبات التى تكون صورة يراها المشاهد.

Object wave : **موجة جسيمية** حزمة من أشعة الليـزر المستخـدم فى عمـل الهولوجرام.

Ocean thermal power : **قدرة حرارية للمحيطات** طريقة للحصول على الكهرباء حيث تبخر مياه سطح المحيط سائلا نقطة غليانه منخفضة ليستخدم بخاره الناتج فى إدارة تربين .

Ocular lens : **عدسة عينية** عدسة تستخدم للنظر خلالها بالعين.

Oscilloscope : **راسم الذبذبـــــات ـ أو سيلوسكوب**: جهاز يعمل على تحويل الموجات الضوئية إلى إشارات إلكترونية ويظهرها على شاشة لتحليلها.

Overtone : **نغمة توافقية** صوت ناتج عن موجة موقوفة لها طول موجى يساوى كسرا معينا من نغمتها الأساسية.

Oxidant : **عامل مؤكسد** جزء من وقود الصاروخ يمده بالأكسجين اللازم لإتمام حرق الوقود.

Phosphor : **مادة متفسفرة** مادة كيميائية ينبعث منها ضوء عند إثارة ذراتها بإشعاع .

Positron : **بوزيترون** أحد مكونات الذرة، وله نفس كتلة الإلكترون ولكن شحنته موجبة.

Prism : **منشور** مُعِدَّة تحلل الضوء إلى مكوناتـه اللونيـة: الأحمر ـــ البرتقالى ـ الأصفر ـ الأخضر ـ الأزرق ـ النيلى ـ البنفسجى .

Propellant : **مسيرات** مادة تولد دفعا عند احتراقها ـ مثل الوقود المستخدم فى الصواريخ .

Protons : **بروتونات** أحد مكونات ثلاثة للــذرة مــع النيوترونـــات والإلكترونات. وتوجد البروتونات فى نواة الذرة، ولها شحنة موجبة.

P-type silicon : **سيليكـــون مـــوجب النـــوع سيليكون-P** سيليكـون شحنتــه الكهربية موجبة .

Radioactivity : **نشاط إشعاعى** طاقة متحررة عند تحلل نواة الذرة .

Real image : **صورة حقيقية** الصورة المتكونة بواسطة عدسة أو مرآة حيث تلتقى أشعة الضوء .

Reference wave : **موجة مرجعية** حزمة من ضوء الليزر تستخدم فى عمل الهولوجرام، إذ تسقط على نفس الفيلم مثل الموجة الجسمية ولكنها لاتنعكس على الجسم المراد تصويره .

Reflection : **انعكاس** خاصية الضوء أو الصوت التى يرتد بها على الأسطح .

Refraction : **انكسار** خاصية الضوء أو الصوت التى يغير فيها اتجاهه عند انتقاله من وسط إلى آخر .

Scintillation counter : **عداد وميضى** مُعِدَّة تعطى إشارة كهربية عند سقوط جسيمات مشحونة عليها .

Semiconductor : **شبه موصل** مادة ـــ مثل السيليكون ـــ يمكنها توصيل أو إيقاف سريان الكهرباء .

Solar power : **قدرة شمسية** عملية توليد الكهرباء من الشمس ، إذ تستخدم حرارة الشمس لتحويل الماء إلى بخار ليدير تربينا، أو يستخدم ضوء الشمس لتغذية خلية شمسية لتعطى كهرباء .

Solenoid : **ملف لولبى (حلزونى)** ملف من سلك ملفوف حول مادة حديدومغناطيسية لعَمَلِ مغناطيس كهربى.

Sonic boom : **فرقعة صوتية** صوت مرتفع ينتج عن تمدد جزيئات الهواء عند زيادة سرعة جسم على سرعة الصوت .

Sound wave : **موجة صوتية** موجة ميكانيكية عبارة عن تضاغطات وتخلخلات فى الوسط عند انتقال الموجة خلاله .

Static electricity : **كهرباء ساكنة ــ استاتيكية** تجمع من شحنات سالبة . أو موجبة على جسم نتيجة اكتسابه إلكترونات أو شحنات موجبة أو بفقده إلكترونات.

Superconductivity (**موصلية فائقة ـــ فرط الموصلية**) ظاهرة توصيل بعض المواد للكهرباء دون مقاومة عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة .

Sympathetic vibration : **اهتزاز متوافق ــ رنينى** ظاهرة تحث فيها موجات صوتية صادرة عن جسم مهتز ــ مثل شوكة رنانة ــ جسما مشابها قريبا كى يهتز.

Temperature : **درجة الحرارة** مقياس غير مباشر لمتوسط سرعة اهتزاز جزيئات المادة .

Thermal conductivity : **الموصلية الحرارية** مقياس لكيفية توصيل الحرارة ــ إما جيدا أو رديئا .

Thermal energy : **طاقة حرارية** كمية الطاقة الداخلية التى تحتوى عليها المادة، وهى مجموع طاقة الحركة لجزيئات المادة، وتدل عليها درجة حرارتها .

Thermoelectric power : **قدرة كهروحرارية** طريقة لتوليد الكهرباء، حيث يتحول الماء إلى بخار بالحرارة الناتجة عن حرق وقود أحفورى . ويعمل هذا البخار على إدارة ريش (عوارض) تربين.

Timbre : **جَرْس** الصوت المميز لآلة موسيقية. وهو نتاج مدى النغمات للآلة الموسيقية والمواد الداخلة فى تركيبها.

Torque : **عزم الدوران** القوى التى تعمل على دوران جسم .

Transition point : **نقطة الانقلاب ــ نقطة التحول** وهى درجة الحرارة التى يفقد عندها موصل كهربى مقاومته، ويصبح فائق التوصيل .

Transverse wave : **موجة مستعرضة** الموجة التى يتحرك فيها الوسط عموديا على اتجاه تقدم صدر الموجة .

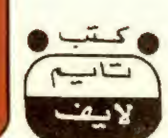
Vaporization : **التبخير ــ التصعيد** عملية التحول من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية (الغازية) .

Vapor pressure : **ضغط البخار** الضغط الناشئ بالقرب من سطح السائل عن جزيئاته المتبخرة .

Vector : **متجه** كمية لها مقدار واتجاه .

Virtual image : **صورة تقديرية** صورة تتكون بواسطة عدسة أو مرآة تفرق الأشعة الساقطة عليها . من مصدر ضوئى .

Viscosity	:	**اللزوجة** خاصية مقاومة السائل لسريانه نتيجة الاحتكاك بين جزيئاته .
Voltage	:	**جهد ــ فولطية** هو الذى يعمل على تحريك الإلكترونات وتعجيلها فى دائرة كهربية فيسرى تيار .
Voltage drop	:	**هبوط الجهد** انخفاض فى جهد دائرة يحدث عند مرور تيار فى مقاومة .
Voltmeter	:	**فولتيميتر** جهاز لقياس الجهد الكهربى .
Volume	:	**حجم** الحيز الذى تشغله المادة.
Wave front	:	**صدر الموجة** القمة المتحركة لموجة .
Wevelength	:	**طول الموجة** المسافة بين قمتين متتاليتين لموجة .



دائــــرة معـــارف القرن الحادى والعشرين
للعلوم والتكنولوجيا المتطورة والطبيعة

الاشراف العام العلمى واللغوى والتربوى

الأستاذ أسامة عبد الكريم السكرى .... وكيل أول وزارة التربية والتعليم (سابقاً)
الأستاذ الدكتور حسن محمد عبد الشافى .... وكيل أول وزارة التربية والتعليم
الأستاذ عبد الجليل حماد .... وكيل وزارة التربية والتعليم

المراجعة العلمية المتخصصة

الأساتذة بكليات الهندسة والعلوم والآداب والتربية والبنات بجامعات القاهرة وعين شمس والأزهر والأسكندرية

أ.د. محمد أديب رياض غنيمى | أ.د. محيى الدين عبد اللطيف قناوى | أ.د. منصور محمد حسب النبى
أ. مراد إبراهيم الدسوقى | أ.د. محمد أحمد حمودة | أ.د. محمد سمير عبد المعز
أ.د. محمد صابر سليم | أ.د. فتحى محمد أبو عيانة | أ.د. علاء الدين بهجت

الترجمة

المترجمون المتخصصون والأعضاء بالمنظمات العربية والتعليم

أ. جمال سليمان عبد الرحيم | أ. عبد الرؤوف محمد حسنين | أ. ريهام أسامة السكرى
أ. غادة أسامة السكرى | أ. محمد نبيل عبد الله محمود | أ. ميسرة محمد عبد الرحمن
أ. صفوت عبد الحافظ صابر

مستشار الطباعة: أحمد عارف حسن الزين
المستشار الفنى: عـادل البطراوى

دار الكتاب المصرى
القاهرة
٣٣ شارع قصر النيل. تليفون: ٣٩٢٢١٦٨/ ٣٩٣٤٣٠١/ ٣٩٢٤٦١٤
ص.ب.: ١٥٦ - الرمز البريدي: ١١٥١١ - برقياً: كتامصر - القاهرة
تلكس: ATT: Mr. Hassan El - Zein 23881, 22481 - القاهرة
فاكسميلي ٣٩٢٤٦٥٧ (٢٠٢) FAX: (202) 3924657

دار الكتاب اللبنانى
بيروت
شارع مدام كوري - تجاه فندق بريستول - بيروت
تليفون: ٣٥١٤٣٣
صندوق بريد: ٨٣٣٠ - ١١ بيروت - لبنان. برقياً: داكلبان
فاكسميلي ٣٥١٤٣٣ (٩٦١١) FAX: (9611) 351433
TELEX: DKL 23715 LE ATT: Mr. HASSAN El - ZEIN

كتب تايم لايف TIME LIFE BOOKS
رئيس تنفيذى TREVOR LUNN
مدير تنفيذى HANS BERGMANS
Time - Life Books Europe
Ottho Heldringstraat 5
1066 AZ Amsterdam
The Netherlands
Tel : 5104911
Fax: 6140438

الطبعة الأولى ١٤١٧ هـ - ١٩٩٧ م
AD 1997 - H 1417
رقم الايداع: ٩٥ / ٧٠١٦
I.S.B.N. 977 - 238 - 647 - 6